

Aus dem Institut für Veterinär-Hygiene
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin
Direktor: Prof. Dr. H. Hartwig

UNTERSUCHUNGEN ZUR BEWERTUNG DER LEISTUNGSFÄHIGKEIT DES STANDARD-IMPINGERS NACH BRACHMAN U. MITARB. ZUM NACHWEIS VON LUFTKEIMEN IM STALL

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Jutta Knoche
Tierärztin aus Leipzig

Berlin 1971
Journal-Nr. 738

Aus dem Institut für Veterinär-Hygiene
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin
Direktor: Prof. Dr. H. Hartwig

UNTERSUCHUNGEN ZUR BEWERTUNG DER LEISTUNGSFÄHIGKEIT DES STANDARD-IMPINGERS NACH BRACHMAN U. MITARB. ZUM NACHWEIS VON LUFTKEIMEN IM STALL

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Jutta Knoche

Tierärztin aus Leipzig

Berlin 1971

Journal-Nr. 738

Gedruckt mit Genehmigung
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Vorsitzender:	Prof. Dr. J. Boch
Referent:	Prof. Dr. H. G. Hilliger
Korreferent:	Prof. Dr. G. Reuter



Tag der Promotion: 11.2.1971

Inhaltsverzeichnis

Seite

I.	<u>Einleitung</u>	1
II.	<u>Literaturübersicht</u>	
A.	<u>Charakteristika der Mikroorganismen</u> <u>in der Luft</u>	2
B.	<u>Anforderungen an Untersuchungsmethoden</u> <u>zur Bestimmung des Luftkeimgehaltes</u>	4
C.	<u>Überblick über die Methoden zur Bestimmung</u> <u>des Luftkeimgehaltes</u>	6
D.	<u>Leistungsprüfungen von Luftkeimunter-</u> <u>suchungsgeräten</u>	9
	1. Allgemeines	9
	2. Leistungsprüfungen mit Impingern	12
	3. Leistungsprüfungen mit Membranfiltern	17
E.	<u>Faktoren, die eine Luftkeimuntersuchung</u> <u>beeinflussen können</u>	18
III.	<u>Eigene Versuche</u>	23
A.	<u>Ort und Zeit der Versuche</u>	23
B.	<u>Methodik</u>	26
	1. Versuchsgeräte und ihre Handhabung	26
	2. Bakteriologische Verarbeitung und Bewertung	31
	3. Klimatische Messungen	34
C.	<u>Methodische Vorversuche</u>	35
	1. Stellung des Trockenturmes in der Geräteeinordnung	35
	2. Leistungsdifferenzen verschiedener MF-Typen	36

	Seite
D. <u>Aufbau und Betrieb der Geräteanordnung</u> <u>für die Hauptversuche</u>	38
E. <u>Ergebnisse der Hauptversuche</u>	41
1. Summe der nachgewiesenen Keimzahlen	41
2. Keimausbeuten in den einzelnen Nachweisstufen	45
3. Zeitparallele Messungen mit dem Standard-Impinger	46
IV. <u>Besprechung</u> =====	47
1. Benutzte Versuchsanordnung	47
2. Ausbeute des Standard-Impingers	50
3. Zeitparallele Messungen	56
4. Zum Auswertverfahren	58
V. <u>Zusammenfassung</u> =====	71
VI. <u>Literaturverzeichnis</u> =====	73

I. Einleitung

=====

Voraussetzung für die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Tiere sind optimale Umweltbedingungen. Im Rahmen steigender Intensivierung der Tierhaltung gewinnt der Umweltfaktor Luft zunehmend an Bedeutung. Hierbei interessieren u.a. der quantitative und qualitative mikrobielle Gehalt der Luft.

Die Methoden der Aerobiologie zur Bestimmung des Keimgehaltes der Luft finden heute überwiegend Anwendung in der Humanhygiene, so z.B. in Herstellungsorten empfindlicher Medikamente, Laboratorien und Operationssälen, da hier genaue quantitative und qualitative Kenntnisse der Luftkeime Voraussetzung für gezielte hygienische Maßnahmen darstellen.

In der Tierhygiene finden methodische Untersuchungen des Keimgehaltes der Stallluft in letzter Zeit ein gewisses Interesse. Bei diesen Untersuchungen zeigt sich, daß der von BRACHMAN u. Mitarb. 1964 zur Luftkeimgehaltsbestimmung empfohlene 'AGI-30'-Impinger auch im Stall ein optimales Untersuchungsgerät darstellt. Daher setzen einige Autoren in ihren vergleichenden Untersuchungen die Ergebnisse des 'AGI-30'-Impingers gleich 100% und beziehen die Leistungsfähigkeit anderer Methoden relativ auf die des 'AGI-30'-Impingers. Bei dieser relativen Beurteilung bleibt jedoch offen, inwieweit die Ergebnisse des 'AGI-30'-Impingers dem tatsächlichen Keimgehalt der Luft entsprechen. Die vorgelegten Untersuchungen sollen zu dieser Frage einen Beitrag leisten; sie wurden ausschließlich unter Stallbedingungen durchgeführt.

II. Literaturübersicht

=====

A. Charakteristika der Mikroorganismen in der Luft

Die atmosphärische Luft ist physikalisch nach SCHMAUSS und WIGAND 1929 ein Aerosol. Unter einem Aerosol versteht man ein kolloidales System, bei dem in einem gasförmigen Dispersionsmittel feste und/oder flüssige Bestandteile als disperse Phase fein verteilt vorliegen; das System weist eine gewisse Stabilität auf. Die Mikroorganismen zählen zur dispersen Phase der festen Bestandteile (BAUR 1957). Während NIEMANN 1955 alle schwebefähigen Bestandteile der Luft als Aeroplankton zusammenfaßt, unterscheidet REIFFERSCHIED 1963 im Hinblick auf lufthygienische Betrachtungen zwischen einem industriellen und einem biologischen Aerosol. Unter einem biologischen Aerosol versteht er nicht nur lebende und lebensfähige Anteile, sondern auch Anteile pflanzlicher und tierischer Herkunft. Pilze, Bakterien, Viren und Protozoen einschließlich ihrer Dauerformen betrachtet er als Teil dieses biologischen Aerosols. Daneben findet man in der Literatur auch die Bezeichnung 'Mikroorganismen in der Luft' (ALBRECHT 1958). Unter 'Luftkeimen' versteht man dagegen in der Regel Bakterien und Pilze. Da bei meinen Untersuchungen die Bakterien im Vordergrund des Interesses stehen, wird der Begriff 'Luftkeime' bevorzugt benutzt werden. Neben dem Begriff Luftkeime findet man in der Literatur auch die Bezeichnung 'Keimaerosol' (ALBRECHT 1958, WANNER 1969). Man benutzt diesen Begriff vorwiegend zur Bezeichnung von Luft, der nach Art und Zahl definierte Bakterien zugemischt wurden. Solche Keimaerosole werden bevorzugt bei Aerosolkammeruntersuchungen verwandt.

Die Luftkeime des atmosphärischen Aerosols können sowohl untereinander als auch zu anderen festen oder flüssigen Bestandteilen der Luft Beziehungen haben (JUNGE 1962) und

Kondensate und Agglomerate bilden (KLIEWE und WASIELEWSKI 1952). WELLS 1955 und LUDLAM 1967 sprechen in diesem Zusammenhang von 'droplet nuclei' und verstehen hierunter die Tatsache, daß sich Mikroorganismen in bzw. an Wassertröpfchen befinden können, was für ihre biologische Situation von besonderer Bedeutung ist. Daher ist die Größe von Partikeln, die Luftkeime enthalten, sehr unterschiedlich; wie alle anderen Schwebstoffe der Luft besitzen sie in Abhängigkeit von ihrer Größe und anderen Umwelteinflüssen die Fähigkeit zu sedimentieren (WANNER 1970).

Die Zusammenhänge zwischen Bakteriengehalt und Staub untersuchen KANZ 1966, GUNDERMANN 1969, BUROW und HILLIGER 1969 und HILLIGER 1969a. In den beiden zuletzt genannten Arbeiten konnte festgestellt werden, daß unter Stallverhältnissen der Hauptteil der Staubpartikel frei von Luftkeimen ist; die Autoren sind der Ansicht, daß neben staubpartikelgebundenen Bakterien auch freie Bakterien in der Luft vorliegen können.

Die biologische Bedeutung der Luftkeime ist neben der absoluten Keimzahl von der Art der Keime abhängig und kann von klimatischen Faktoren wie Temperatur, relativer Feuchte, Luftbewegung, Luftgeschwindigkeit und elektrischer Raumladung beeinflusst werden (UHLIG 1953/54, VÖLKESCH-PETZOLDT 1967).

B. Anforderungen an Untersuchungsmethoden zur Bestimmung des Luftkeimgehaltes

Um optimale Angaben über Zahl, Art und Lebensfähigkeit von Luftkeimen zu erhalten, sind nach ALBRECHT 1958 an eine Untersuchungsmethode bestimmte Anforderungen zu stellen, die folgendermaßen zusammengefaßt werden können:

Die Untersuchungsmethode sollte

einen maximalen Abscheideeffekt besitzen, d.h. die nachgewiesenen Keimzahlen sollten dem tatsächlichen Keimgehalt der untersuchten Luft möglichst nahekommen, im Idealfall identisch sein,

eine geringe Absterberate aufweisen, d.h. der Prozentsatz der im Verlaufe der Entnahme und Verarbeitung zugrundegehenden Keime sollte möglichst gering sein,

sowohl unter keimarmen als auch keimreichen Bedingungen leistungsfähig sein und

unter zumutbarem technischen Aufwand durchführbar sein.

Nach den Erfahrungen von ALBRECHT 1958 und WANNER u. DEUBER 1969 sollte die Art der Untersuchungsmethode nach den zu erwartenden bzw. vorliegenden Gegebenheiten und Fragestellungen gewählt werden. Als wichtige Gesichtspunkte sind dabei in Anlehnung an diese Autoren zu berücksichtigen:

- a. für die Gegebenheiten bei der Untersuchung:
Dichte der Luftkeime (Keimzahl pro Volumeneinheit),
Art, Größe und Einheitlichkeit der Verteilung der Luftkeime und Feuchtigkeitsgehalt der zu untersuchenden Luft;
- b. für die Fragestellung bei der Untersuchung:
quantitativer und qualitativer Keimnachweis zur Unterscheidung von Familie, Gattung und Spezies von Bakterien,

Viren, Protozoen und die Prüfung der Beziehungen der Luftkeime zu anderen Luftbestandteilen.

So eignen sich zur Bestimmung des Gesamtkeimgehaltes in keimreicher Luft Impingerverfahren (Auswaschprinzip), zur Bestimmung in keimarmer Luft Impaktionsverfahren (Prallprinzip) und zur Prüfung der Zusammenhänge zwischen Keimgehalt und Staub schonende Verfahren, wie z.B. die Sedimentation und Filtration (ALBRECHT 1958). GUNDERMANN 1969 gibt für Serienuntersuchungen in Krankenhäusern der Filtration durch Membran- und Gelatinefilter den Vorzug.

Diese Zusammenstellung verdeutlicht, daß es kein universelles, bei unterschiedlichen Bedingungen optimales Nachweisverfahren für Luftkeime geben kann; für viele Fragestellungen und Untersuchungsgegebenheiten ist diese Tatsache außerordentlich nachteilig. Daher meinen WANNER u. DEUBER 1969, daß bei gleichzeitiger Anwendung mehrerer Meßverfahren der Aussagewert der Ergebnisse wesentlich erhöht werden kann.

C. Überblick über die Methoden zur Bestimmung des Luftkeimgehaltes

Übersichten über Entwicklung und Arbeitsweise verschiedener Verfahren zur Bestimmung des Keimgehaltes geben UHLIG 1953/54, ALBRECHT 1958, TYLER u. SHIPE 1959a, WOLF u. Mitarb. 1959, NOBLE 1967 und HURTIENNE 1967.

Bei den bekannten Untersuchungsverfahren unterscheidet man zwischen direkten Verfahren, die die Keime so abscheiden, daß sie unmittelbar nach der Entnahme - evtl. unter spezifischer Anfärbung - mikroskopisch beobachtet und ausgewertet werden können und kulturellen Verfahren, wobei die Keime erst nach Kultivierung auf einem Nährmedium nachweisbar sind. Die überwiegend benutzten kulturellen Verfahren bestehen nach ALBRECHT 1958 in der Regel aus zwei getrennten methodischen Stufen:

- a. Sammlung und/oder Anreicherung der Keime aus der zu untersuchenden Luft und
- b. der nachfolgenden quantitativen und qualitativen Bestimmung der Luftkeime

In der ersten Stufe (a) werden die Keime aus dem Aerosol abgeschieden und dabei oft in bzw. auf einem festen oder flüssigen Medium angereichert. Die quantitative und qualitative Bestimmung der Luftkeime (b) erfolgt im wesentlichen in der Weise, daß sie auf einen festen Nährboden verbracht oder im Plattengußverfahren verarbeitet und bebrütet werden. Es entstehen Kolonien, die gezählt werden können. Man geht dabei von der Annahme aus, daß jeder einzelne Keim an der Stelle, an der er fixiert wurde, sich zu einer makroskopisch sicht- und differenzierbaren Kolonie entwickelt.

Um zu verdeutlichen, wo die im Rahmen dieser Arbeit benutzten Methoden einzuordnen sind, wird in Anlehnung an WOLF u. Mitarb.

1959 in Tabelle 1 eine Übersicht über die wichtigsten Verfahren gegeben. Für die vorliegenden Untersuchungen wurden als Impingement-Verfahren der All-Glass-Impinger AGI-30 (= Standard-Impinger) und als Filtrations-Verfahren das Membranfilter (MF) verwandt. Die nähere Beschreibung dieser beiden Verfahren erfolgt im Abschnitt III.B.1. 'Versuchsgeräte und ihre Handhabung'.

Prinzip des Verfahrens

Geräte- bzw. Verfahrensbeispiele

Sedimentation

Ablagerung der Keime auf Nährbodenplatten mit oder ohne Bestimmung des Luftvolumens

KOCH'sches Absetzverfahren (1881)
HESSE'sches Rohr (1913)

Filtration

Filtration durch feste Körper

Baumwolle (PASTEUR 1860)
Glaswolle (FRANKLAND 1888)
Membranfilter (KRUSE 1948)
Trockensalz (OESTERLE 1935)
Gelatinefilter (MITCHEL 1954)

Impingement

Durchleiten eines Luftstromes durch Flüssigkeiten

GREENBURG-SMITH-Impinger
(GREENBURG u. SMITH 1922)
PORTON-Impinger (HENDERSON 1952)
SHIPE-Impinger (SHIPE u. TYLER 1959)
Standard-Impinger (AGI-30)
(BRACHMAN u. Mitarb.)

Impaktion

Aufschleudern eines Luftstromes auf feste Nährböden

Slit-Sampler (BOURDILLON 1948)
Cascade-Impactor (MAY 1945)
ANDERSEN-Sampler (ANDERSEN 1958)

Zentrifugation

Abscheidung durch Zentrifugalkraft

Air-Zentrifuge (WELLS 1933)

Tab. 1: Übersicht über die wichtigsten Prinzipien zur Luftkeimgehaltsbestimmung mit Geräte- bzw. Verfahrensbeispielen in Anlehnung an UHLIG 1953/54 und an WOLF u. Mitarb. 1959

D. Leistungsprüfungen von Luftkeimuntersuchungsgeräten

1. Allgemeines

Die Leistungsfähigkeit einer Methode zur Bestimmung des Luftkeimgehaltes setzt sich zusammen aus:

- a) der Keimausbeute
- b) aus der Sicherheit der Reproduzierbarkeit des Ergebnisses

Zu a) Die Keimausbeute beinhaltet, gemessen an dem tatsächlichen Keimgehalt der Luft, eine Aussage über die durch ein Verfahren nachgewiesenen Keime. In der Literatur werden für die Keimausbeute folgende Ausdrücke verwandt: 'collection efficiency' und 'rate of recovery' (TYLER u. SHIPE 1959a), Rückhaltevermögen (HAFERKORN u. Mitarb. 1968). Je nach den Untersuchungsgegebenheiten ist in Anlehnung an WANNER u. DEUBER 1969 zwischen einer relativen und einer absoluten Keimausbeute zu unterscheiden. Mit der Beurteilung einer relativen Keimausbeute begnügt man sich, wenn der tatsächliche Keimgehalt der zu prüfenden Luft nicht genau bekannt ist. Man benutzt dann mindestens zwei Bestimmungsverfahren vergleichend und beurteilt dann das Verfahren als das relativ leistungsfähigere, das eine höhere Keimzahl nachweist. Eine Beurteilung der absoluten Ausbeute einer Methode setzt die genaue Kenntnis des tatsächlichen Keimgehaltes der zu prüfenden Luft voraus.

Vielfach versucht man, eine Aussage, die der absoluten Ausbeute sehr nahe kommt, dadurch zu gewinnen, daß man mehrere Entnahmegeräte gleichen oder verschiedenartigen Typs hintereinander schaltet (z.B. McDANIEL u. LONG 1954, HAFERKORN u. Mitarb. 1968, WANNER u. DEUBER 1969). Zur Auswertung addiert man die Keimzahlen, die aus den hintereinandergeschalteten Geräten ermittelt wurden, und errechnet den Anteil, der auf

das erste Gerät entfällt. Man geht dabei von der Annahme aus, daß die additiv errechneten Keimzahlen näherungsweise dem tatsächlichen Keimgehalt der untersuchten Luft entsprechen. Auf diese Weise erhält man für das erste Gerät im Versuchssystem eine Aussage über seine Ausbeute, die einer absoluten Ausbeute verhältnismäßig nahekommt. Es wird vorgeschlagen, eine solche Versuchsanordnung als ein 'verbessertes Verfahren zum Nachweis der relativen Ausbeute' oder kurz als 'verbesserte' relative Ausbeute zu bezeichnen.

Die Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Geräten zur Luftkeimgehaltsbestimmung kann entweder mit künstlichen Keimaerosolen unter Modellbedingungen oder mit natürlichen Keimaerosolen unter Feldbedingungen durchgeführt werden. In mikrobiologischer Sicht versteht man unter einem künstlichen Keimaerosol eine experimentell hergestellte Bakterienverteilung in Luft (ALBRECHT 1958, TYLER u. SHIPE 1959a, HAFERKORN u. Mitarb. 1968). Hierzu versprüht man eine vorgegebene Menge einer Testkeimsuspension in einen Raum definierten Volumens, in der Regel in eine Aerosolkammer. Als Testkeime benutzen z.B. TYLER u. SHIPE 1959a *Bac. subtilis* und *Serr. marcescens* und WANNER u. DEUBER 1969 *E. coli*. Die Verwendung von künstlichen Keimaerosolen zur Prüfung von Luftkeimuntersuchungsgeräten bietet gewisse Vorteile. So kann aufgrund der Kenntnis der vorgegebenen Bakterienmenge und des Kammervolumens der zu erwartende Keimgehalt mehr oder weniger exakt bestimmt werden. Die Verwendung von wenigen Keimarten - oder nur einer einzigen - ist als weiterer Vorzug zu betrachten, weil sie die Möglichkeit gibt, die Eigenheiten der einzelnen Spezies genauer zu untersuchen. Im Gegensatz zu Feldbedingungen wirken auf die Keime in der Aerosolkammer definierte Umwelteinflüsse ein. Schwierig ist es jedoch, bei Verwendung künstlicher Keimaerosole die Verteilung und die biologische Stabilität der Keime gleichmäßig zu gestalten, da man in der

Aerosolkammer Absterbevorgänge und Sedimentation der Keime nicht vollständig ausschließen kann. Darüber hinaus erfordert die Arbeit mit künstlichen Keimaerosolen einen relativ hohen technischen Aufwand.

Unter einem natürlichen Keimaerosol versteht man in mikrobiologischer Hinsicht Luftkeime, die unter verschiedensten Gegebenheiten in der Luft vorliegen können. Sie haben eine unterschiedliche Dichte und eine biologisch sehr weit streuende Zusammensetzung. Die Luftkeime werden durch eine Reihe von Umweltfaktoren beeinflusst, die nur selten genügend exakt definiert oder konstant gehalten werden können. Der besondere Vorteil des natürlichen Keimaerosols besteht darin, daß sich die Keime in dem Zustand befinden, in welchem sie auf ihre Umwelt biologischen Einfluß nehmen. Infolge des hohen technischen Aufwandes bei der Herstellung stabiler, exakt definierter Luftkeimverhältnisse wird die Prüfung der relativen Ausbeute heute häufiger benutzt als die Prüfung der absoluten Ausbeute.

Zu b) Die Sicherheit der Reproduzierbarkeit des Ergebnisses wird in der Regel durch Parallelmessungen oder kurz hintereinander folgende Messungen (WANNER u. DEUBER 1969) überprüft. Man erstrebt dabei eine Aussage über die methodische Zuverlässigkeit eines Verfahrens. GOLDBERG u. SHECHMEISTER 1951 und ALBRECHT 1957 meinen, daß die Keime während des Entnahmeprozesses durch physikalische Einflüsse, wie z.B. Dehydration, in ihrer Lebensfähigkeit beeinträchtigt oder infolge heftigen Aufpralles abgetötet werden können. Die Bedeutung dieser Faktoren kann jedoch leider nur unvollkommen von den anderen Gegebenheiten - besonders von der Homogenität und Stabilität des Keimgehaltes der zu prüfenden Luft - getrennt werden, so daß eine Aussage über die methodische Zuverlässigkeit eines Untersuchungsverfahrens damit nur begrenzt möglich ist. Unter-

suchungen zu dieser Frage unter optimalen Bedingungen liegen m.W. in der Literatur nicht vor.

2. Leistungsprüfungen mit Impingern

In der Literatur finden sich von folgenden Autoren Angaben über Leistungsprüfungen mit Impingern hinsichtlich der:

absoluten Ausbeute von

MAY u. HARPER 1957 mit dem Impinger AGI-30

relativen Ausbeute von

MAY u. HARPER 1957 Standard-Impinger und PORTON-Impinger
TYLER u. SHIPE 1959a und b mit verschiedenen Impingern
MAIER u. VOGGEL 1965 unbekannter Impinger und Gelatine-
filter

HURTIIENNE 1967 Standard-Impinger mit verschiedenen
Verfahren

HILLIGER 1969b Standard-Impinger mit CASELLA-Gerät
WANNER u. DEUBER 1969 GREENBURG-SMITH-Impinger und
CASELLA-Schlitzsammler

KEMPMANN 1970 Standard-Impinger und Gelatinefilter

relativen Ausbeute mit verbesserter Methode von

McDANIEL u. LONG 1954 ROSEBURY-Impinger

HAFERKORN u. Mitarb. 1968 Standard-Impinger

WANNER u. Deuber 1969 GREENBURG-SMITH-Impinger

Sicherheit der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse von

WANNER u. DEUBER 1969

Eine Übersicht über Ergebnisse bisher vorliegender Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit von neueren Impingern hinsichtlich ihrer Ausbeute ist in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Einzelheiten der Befunde werden im folgenden nur insoweit aufgeführt, als sie für die eigenen Versuche von gewisser Bedeutung sind. Dabei wird zwischen den Befunden in keimarmen und keimreicher Luft unterschieden; innerhalb dieser beiden Gruppen werden die Befunde chronologisch dargestellt.

McDANIEL u. LONG 1954 arbeiten unter Aerosolkammerbedingungen mit einem Kapillar-Impinger nach ROSEBURY 1947, der sich in seiner Konstruktion von dem Kapillar-Impinger BRONNs insofern unterscheidet, als der Luftstrom senkrecht zum Flaschenboden eingeleitet wird. Zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit dieses Gerätes schalten die genannten Autoren drei Impinger hintereinander und messen die Keimausbeute jedes einzelnen Impingers. Für den ersten Impinger erhalten sie eine Keimausbeute von 99.99 %. Über die Ausbeute des zweiten und dritten Impingers sind dieser Arbeit keine Angaben zu entnehmen.

MAY u. HARPER 1957 prüfen unter Aerosolkammerbedingungen mit *Serr. marcescens* und *Bac. subtilis* das Rückhaltevermögen des AGI-30, der dem Standard-Impinger nach BRACHMAN u. Mitarb. 1964 entspricht. Sie bestimmen für den Standard-Impinger eine durchschnittliche absolute Ausbeute von 97.6 %. In einem Vergleich zwischen Standard- und PORTON-Impinger, bei dem die Leistung des PORTON-Impingers gleich 100 % gesetzt wird, weist der Standard-Impinger aus zwei künstlichen Aerosolen (*Bac. subtilis* und *Serr. marcescens*) eine relative Ausbeute für *Bac. subtilis* von 99.0 ± 8 % bzw. für *Serr. marcescens* von 135.0 ± 19 % nach.

TYLER u. SHIPE 1959a untersuchen das Rückhaltevermögen verschiedener Impinger-Typen unter Aerosolkammerbedingungen. Sie finden, daß der AGI-4 bei Versuchen mit feinen, homogenen Aerosolen in seiner Leistungsfähigkeit allen anderen Impingern

Art des Nachweises	Autoren	verwendeter Impinger-Typ	Ausbeute (%)	Versuchsbedingungen
absolute Ausbeute	MAY u. HARPER 1957	Standard-Impinger	97.6	Aerosol-kammer
relative Ausbeute	MAY u. HARPER 1957	Standard-Impinger	99.0 + 8 (Bac. subt.)	Aerosol-kammer
	MAIER u. VOGEL	nicht näher bezeichneter Imp.	135.0 + 19 (Serr. marc.)	
	HURTENNE 1967	Standard-Impinger	100.0	
	HILLIGER 1969b	Standard-Impinger	100.0	
'verbesserte' relative Ausbeute	KEMPMANN 1970	Standard-Impinger	100.0	Stall
	McDANIEL u. LONG 1954	ROSEBURY-Impinger	99.99	"
	HAERKORN u. Mitarb. 1968	GREENBURG-SMITH-Impinger	100.0	"
	WANNER u. DEUBER 1969	GREENBURG-SMITH-Impinger	97.8 + 2.4 89.9 ± 13.5	Labor- und Außenluft

Tab. 2: Übersicht über die mit verschiedenen Impingern nachgewiesenen Ausbeuten aufgrund der Angaben in der Literatur

überlegen ist und seine Ergebnisse mit denen des Wattefilters, der von TYLER u. SHIPE als optimal bezeichnet wird, übereinstimmen. Die gerätebedingte Verlustrate ('exhaust-loss') beträgt weniger als 1 %, d.h. es werden mehr als 99 % aus der Kammerkonzentration nachgewiesen. Der von ihnen entwickelte SHIPE-Sampler (SHIPE u. TYLER 1959) ergab nach ihren Befunden mit künstlich hergestellten Bakteriengemischen in Aerosolform noch bessere Ergebnisse als der AGI-4, da infolge tangentialer Einführung des Luftstromes die Absterberate der Keime nach Ansicht der Autoren noch geringer ist.

Zur Prüfung der Ausbeute vergleichen WANNER u. DEUBER 1969 unter Feldbedingungen den GREENBURG-SMITH-Impinger mit dem CASELLA-Schlitzsammler. Die Messungen erfolgen in einem Laborraum, dessen Volumen bekannt ist. Vor und während der Messungen wird Leitungswasser versprüht, das E.coli in einer Konzentration von 10^3 - 10^4 Keime pro ml enthält. Die Autoren arbeiten im Prinzip wie McDANIEL u. LONG 1954, indem sie zwei Impinger hintereinanderschalten und die Ausbeute für jeden einzelnen Impinger bestimmen. Sie untersuchen bei einer Ansauggeschwindigkeit von 25 l/min unterschiedliche Luftvolumina, die mit < 1000 l und > 1000 l angegeben werden und ermitteln aus gleichzeitig entnommenen Luftproben für den ersten Impinger Ausbeuten, die zwischen 65.3 % und 98.7 % liegen. Die Autoren stellen fest, daß die Ergebnisse bei Untersuchungen relativ keimarmer Luft viel stärkere Streuungen aufweisen (z.B. bei 5 - 50 Keimen /ml Flüssigkeit und einer Ausbeute des ersten Impingers von 89.9 % beträgt die Standardabweichung $s \pm 13.5$) als Werte relativ keimreicher Luft (z.B. bei 101 - 150 Keimen /ml Flüssigkeit und einer Ausbeute des Impingers von 97.8 % beträgt die Standardabweichung $s \pm 2.4$). Daraus folgt nach WANNER u. DEUBER, daß bei Untersuchungen relativ keimarmer Luft in der oben beschriebenen Anordnung die Ausbeute des zweiten Impingers für das Gesamtergebnis berücksichtigt werden muß. Der Arbeit ist keine Angabe zu entnehmen, wie hoch die Keimdichte pro Liter

Luft ist, die hier zur Untersuchung gelangte.

WANNER u. DEUBER 1969 sind m.W. die einzigen Autoren, die Angaben hinsichtlich der Sicherheit der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bei Luftkeimuntersuchungen machen. Bei 31 gleichzeitigen Messungen mit zwei GREENBURG-SMITH-Impingern in zwei verschiedenen Räumen und in der Außenluft mit stark unterschiedlichen Luftkeimdichten zwischen 50 und 100 000 Keimen/m³ stellen sie fest, daß die größten Keimzahldifferenzen in der Außenluft, deutlich geringere und etwa gleich hohe in den beiden Räumen nachzuweisen sind. Die Unterschiede werden im t-Test geprüft und im Durchschnitt als gering bewertet (errechnete Irrtumswahrscheinlichkeit im Laborraum 0.7 p 0.6; im Arbeitsraum 0.95 p 0.90; in der Außenluft 0.3 p 0.2). Als Ursache vermuten die Autoren methodische Unregelmäßigkeiten in den Meßapparaturen oder effektive Keimkonzentrationsunterschiede.

Über die Leistungsfähigkeit der Impinger unter keimreichen Stallbedingungen liegen relativ wenige Angaben in der Literatur vor. In vergleichenden Untersuchungen in Ställen mit verschiedenen Entnahmeverfahren findet HURTIENNE 1967, daß der Standard-Impinger regelmäßig den anderen, gleichzeitig benutzten Verfahren - Impinger nach BRONN, OESTERLE-Trockensalzfilter, Gelatine- und Membranfilter - hinsichtlich der Zahl der nachgewiesenen Keime überlegen ist. Bei einer Untersuchung zur Eignung des CASELLA-Schlitzsammlers zum Nachweis von Keimen in der Stallluft ermittelt HILLIGER 1969b, daß der Schlitzsammler nur 24 - 27 % der mit 100 % angesetzten Standard-Impinger-Keimausbeute erbringt. KEMPMANN 1970 vergleicht die Leistung eines verbesserten Gelatine-Filters mit der des Standard-Impingers in einem Legehennenstall. Hierbei können mit dem Gelatine-Filter 86.7 ± 24.9 % der mit dem Standard-Impinger ermittelten relativen Keimausbeuten nachgewiesen werden.

Aufgrund der Untersuchungen oben genannter Autoren scheint das Impinger-Verfahren - besonders für Untersuchungen keimreicher Luft - eine leistungsfähige Methode zur Bestimmung des Luftkeimgehaltes zu sein.

3. Leistungsprüfungen mit Membranfiltern

MACHALA 1964/65 verwendet Membranfilter bei Luftkeimgehaltsbestimmungen unter Labor- und Feldbedingungen. Er findet, daß für eine erfolgreiche Untersuchung sowohl künstlicher als auch natürlicher Keimaerosole mit Membranfiltern eine möglichst hohe Durchflußrate gewählt werden sollte. Bei Prüfung verschiedener Durchflußraten - 1, 5, 10, 20 und 25 l/min - weist er mit einem Membranfilter der Fa. SARTORIUS-Membranfilter des Typs Co-5 = SM 11 106 bei der Durchflußrate 25 l/min optimale Keimzahlen nach. In Versuchen unter Modellbedingungen und unter Anwendung eines durch Sedimentation bestimmten Konzentrationsnulleffektes kann MACHALA an den abgechiedenen Keimen keine Dehydrationswirkungen feststellen. In vergleichenden Untersuchungen mit Membranfiltern, Gelatinefiltern und einem nicht näher bezeichneten Impinger können MAIER und VOGGEL 1965 aus einem künstlichen Keimaerosol als relative Abscheideleistungen für das Membranfilter 1.6 % und für das Gelatinefilter 96.0 % der mit 100 % angesetzten Impingerausbeute ermitteln.

HURTIENNE 1967 weist unter Stallbedingungen beim Vergleich mit dem Standard-Impinger für das Membranfilter eine relative Keimausbeute von durchschnittlich 43.2 % nach. HAPERKORN u. Mitarb. 1968 vergleichen mit einem künstlichen Bakteriophagenaerosol das Rückhaltevermögen des AGI-30-Impingers mit dem des Membranfilters. Für das Membranfilter ergibt sich eine relative Ausbeute von 15 %.

E. Faktoren, die eine Luftkeimuntersuchung beeinflussen können

Bei der Untersuchung der Luft auf ihren Keimgehalt werden sowohl bei der Entnahme als auch bei der Verarbeitung Faktoren wirksam, die sich auf das Ergebnis, d.h. auf die Keimausbeute auswirken können.

Bei der Entnahme einer zu untersuchenden Luftprobe sind an klimatischen Faktoren im wesentlichen Temperatur, relative Feuchte und die Luftgeschwindigkeit zu berücksichtigen. Ihr Einfluß auf die Höhe der vorhandenen Keimzahl in einer Prüfluft wird in der Literatur unterschiedlich beschrieben (UHLIG 1953/54, HOFFMANN u. RICHTER 1964, TEUBNER 1965, FISER 1967, HURTIENNE 1967, VÖLKSCH-PETZOLDT 1967 und KEMPMANN 1970). Keine Angaben finden sich in der Literatur hinsichtlich des Einflusses der genannten Umweltfaktoren auf die Leistungsfähigkeit von Luftkeimuntersuchungsgeräten.

Einflüsse auf die quantitative und qualitative Keimzahlbestimmung im Laufe der Verarbeitung sind in der mikrobiologischen Labortechnik allgemein bekannt. Für Luftuntersuchungen liegen mit Ausnahme der Arbeit von KEMPMANN 1970 m.W. keine Angaben zu dieser Frage vor. Da sich Luftkeimuntersuchungen in der Verarbeitungstechnik u.a. von lebensmittel- und futtermittelbakteriologischen Untersuchungen nicht wesentlich unterscheiden, sollen im folgenden Angaben über Verarbeitungseinflüsse aus diesen beiden Gebieten berücksichtigt werden. SCHMIDT-LORENZ 1960 empfiehlt aufgrund vergleichender Untersuchungen an gefrorenem und bestrahltem Fisch physiologische NaCl-Lösung mit einem Zusatz von 0.1 % Pepton als optimales Verdünnungsmedium zur Keimgehaltsbestimmung. Sein Befund konnte später auch bei Futtermitteluntersuchungen von SPICHER 1967 und HÖRTER u. KLEIN 1969 bestätigt werden. Auf dem Ge-

biet der Lufthygiene sind mir vergleichende Untersuchungen mit verschiedenen Verdünnungsmedien nicht bekannt.

UNTERMANN 1967 prüft den Einfluß verschiedener Verdünnungs- und Pipettiertechniken auf das Ergebnis bei Keimzahlbestimmungen in Fleisch- und Fleischerzeugnissen. Die statistische Auswertung seiner Ergebnisse zeigt, daß mit der Verdünnungstechnik nach dem Röhrchenverfahren höhere Keimzahlen mit geringeren Streuungen nachgewiesen werden können als mit dem DEMETER-Verfahren. Verdünnungsreihen werden im allgemeinen in Zehnerpotenzen angelegt. Im Gegensatz zu bakteriologischen Lebensmittel- und Futtermitteluntersuchungen besteht nach KEMPMANN 1970 bei Luftuntersuchungen nicht die Möglichkeit, sich durch Vorversuche über den Keimgehalt zu orientieren, so daß bei Benutzung von Zehnerpotenzen die Gefahr besteht, daß einzelne Versuche aus bewertungstechnischen Gründen ausfallen.

Bei lufthygienischen Untersuchungen nehmen auf Gesamtkeimzahlbestimmungen ferner Einfluß: die Art des Nährbodens, die Verimpfungsmenge und -technik sowie die Bebrütungstemperatur und -dauer.

Für die Bestimmung der Gesamtzahl der Luftkeime wird von ALBRECHT 1958, HURTIENNE 1967 und KEMPMANN 1970 als Kulturmedium gewöhnlicher Nähragar verwandt, da nach ALBRECHT 1958 die meisten im natürlichen Keimaerosol vorkommenden Bakterien- und Pilzarten unter 'normalen' Bedingungen wachsen und daher ihre quantitative und qualitative Bestimmung keine Schwierigkeiten bereitet.

Zur Keimgehaltsbestimmung können als Kultivierungsverfahren das Plattengußverfahren oder die Oberflächenkultivierung (Spatelverfahren) angewandt werden. Welches dieser beiden Verfahren für Gesamtkeimzahlbestimmungen bei lufthygienischen

Untersuchungen optimale Keimzahlen nachweist, wurde m.W. bisher nicht systematisch untersucht. Es werden daher sowohl das Plattengußverfahren z.B. von WANNER u. DEUBER 1969 als auch das Oberflächenkultivierungsverfahren z.B. von HURTIIENNE 1967 und KEMPMANN 1970 angewandt. SINELL u. Mitarb. 1967 können in vergleichenden Untersuchungen bei Gesamtkeimzahlbestimmungen an Fleisch und Fleischerzeugnissen mit der Oberflächenkultivierung signifikant höhere Werte nachweisen; für Futtermitteluntersuchungen sprechen sich HÖRTER u. KLEIN 1969 ebenfalls für die Oberflächenkultivierung aus.

Bei dieser Kultivierungsmethode nimmt auf das Ergebnis ferner die Menge der Keimsuspension, die pro Platte verimpft wird, Einfluß. HURTIIENNE 1967, der verschiedene Verimpfungsmengen zwischen 0.08 und 2.0 ml prüft, empfiehlt als optimale Verimpfungsmenge 1.0 ml pro Nährbodenplatte. SINELL u. Mitarb. 1965 sowie UNTERMANN 1967 verimpfen bei lebensmittelbakteriologischen Untersuchungen, ebenso HÖRTER u. KLEIN 1969 bei Futtermitteluntersuchungen und KEMPMANN 1970 bei Keimzahlbestimmungen in der Stallluft, einheitlich 0.1 ml pro Nährbodenplatte, da diese Menge rascher in die Nährbodenoberfläche einzieht.

Für Keimzahlbestimmungen sind ferner von Bedeutung die Bebrütungsdauer und -temperatur. WANNER u. DEUBER 1969 wenden bei lufthygienischen Untersuchungen eine Bebrütungstemperatur von 22° C und eine Bebrütungszeit von 5 Tagen an. KEMPMANN 1970 untersucht den Einfluß von Bebrütungstemperatur und -dauer auf das Wachstum von Stallkeimen. Optimale Keimausbeuten werden nach 5-tägiger Bebrütung bei Zimmertemperatur ermittelt, während die Ausbeuten bei 30° C nur 91 % und bei 37° C nur 65 % der bei Zimmertemperatur nachgewiesenen Keimausbeuten (= 100 %) betragen; es wird darauf hingewiesen, daß die Zimmertemperatur erheblichen tages- und jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen kann.

Für eine genaue Keimzahlbestimmung ist die Koloniedichte bzw. die Koloniezahl pro Platte außerordentlich wichtig. Man geht bei der Zählung der Kolonien auf festen Nährböden von der Annahme aus, daß jeder einzelne Keim an der Stelle, an welcher er fixiert wurde, sich zu einer makroskopisch sicht- und differenzierbaren Kolonie entwickelt (ALBRECHT 1958, SCHMIDT 1963), d.h., daß aus jedem einzelnen Keim eine einzige Kolonie entsteht. Nach ALBRECHT 1958 können in der Luft vorhandene keimwirksame Substanzen sich ungünstig auf das Zählergebnis auswirken, da sie gleichzeitig mit den Keimen abgeschieden und angereichert werden und auf die Keime im Sinne einer Wachstumsförderung, einer Wachstumshemmung oder Abtötung wirken. Bei hoher Koloniezahl pro Platte ist damit zu rechnen, daß einzelne, eng zusammenliegende Keime sich in ihrem Wachstum gegenseitig behindern oder zusammenwachsen und sich dann als nur eine Kolonie darstellen (Überlappungsphänomen und antagonistische Effekte nach SCHMIDT 1963 und PETRAS 1966).

Es ist daher sinnvoll, für die Auswertung der Platten einen Zählbereich festzulegen, in dem mit einer ausreichenden Zählgenauigkeit gerechnet werden kann. Während nach SPICHER 1962 und SCHMIDT 1963 zur Bestimmung von Keimzahlen in Futtermitteln der günstigste Zählbereich zwischen 30 und 200 Kolonien pro Platte liegt, halten SINELL u. Mitarb. 1965 für lebensmittelbakteriologische Untersuchungen Platten mit Koloniezahlen zwischen 30 und 400 für auswertbar. UNTERMANN 1967 nimmt für den Bereich von 30 bis 300 eine gute Zählgenauigkeit an. HURTIIENNE 1967 wählte bei Stallluftuntersuchungen diejenigen Platten zur Beurteilung aus, deren Koloniezahlen zwischen 40 und 600 lagen. KEMPMANN 1970 legt in vergleichenden Stallluftuntersuchungen ihren Auswertungen keinen bestimmten Keimzahlenbereich, sondern eine bestimmte Plattenzahl zugrunde, da sie von einer größeren und einheitlicheren Plattenzahl ein optimales Ergebnis erwartete. Bei einer zu

Vergleichszwecken durchgeführten Bewertung nach einem Keimzahlenbereich (30 - 200 Kolonien pro Platte) findet sie beachtliche Unterschiede zu den Ergebnissen der ersten Auswertung.

Das Zählergebnis gewinnt durch Beimpfen mehrerer Parallelplatten aus einer Verdünnungsstufe an Aussagekraft. Während SINELL u. Mitarb. 1965 bei Untersuchungen von Fleisch und Fleischerzeugnissen aus jeder Verdünnungsstufe zwei bis drei Platten anlegen, arbeiten bei lufthygienischen Untersuchungen HURTIENNE 1967 mit vier und KEMPMANN 1970 mit drei Parallelplatten aus jeder Verdünnungsstufe.

Systematische Untersuchungen und statistisch gesicherte Befunde konnten zu diesen Fragen in der Literatur nicht gefunden werden, so daß es aufgrund der vorliegenden Angaben nicht möglich ist, einen optimalen Auswertbereich und eine optimale Anzahl an Parallelplatten aus einer Verdünnungsstufe festzulegen.

III. Eigene Versuche

=====

A. Ort und Zeit der Versuche

Die Untersuchungen wurden in einem Legehennen-Stall - dargestellt in Abb. 1 - des Instituts für Veterinär-Hygiene der FU Berlin durchgeführt.

Dieser Stall hat eine Grundfläche von 51.00 m^2 , eine Höhe von 2.20 m bzw. 2.70 m und ist durch eine feste Wand in zwei Stallräume unterteilt. Der hintere Stallraum wird durch eine Drahttrennwand in zwei gleich große Stallabteile A und B aufgegliedert, deren Fläche zu $\frac{4}{5}$ als Scharrraum und zu $\frac{1}{5}$ als Kotgrube genutzt wird. Die Fütterung erfolgt durch Futterautomaten, die Wasserversorgung durch automatische Tränken. Die Legenester sind im Stall als bewegliche Familiennester angeordnet. Als Einstreu dienen Häcksel und Torfmull zu etwa gleichen Teilen. An den Längsseiten sind je vier 40 cm mal 60 cm große Kippfenster angeordnet. Von diesen acht Fenstern waren sechs regelmäßig verschlossen und zwei in Kippstellung geöffnet. Die Lufteintrittsbreite beträgt bei den zwei geöffneten Fenstern 25 cm. Der Stall hat durch zwei Klappen Verbindung mit dem Auslauf. Zur Entlüftung dient ein einfacher 1.5 m hoher Schacht in der Stallmitte. Für die Dauer der Versuche war der Stall mit 36 Legehennen belegt. Der Meßplatz liegt - wie aus Abb. 1 ersichtlich - im Stallabteil A an der Drahttrennwand zwischen A und B.

Die Hauptversuche wurden in der Zeit von 24.7.- 12.9.70 durchgeführt. Die Probenentnahme erfolgte jeweils in den Vormittagsstunden - zwischen 10.00 und 13.30 Uhr - außerhalb der Stallarbeitszeit. Die Tiere wurden etwa eine Stunde vor Versuchsbeginn aus dem Stallabteil B entfernt. Während

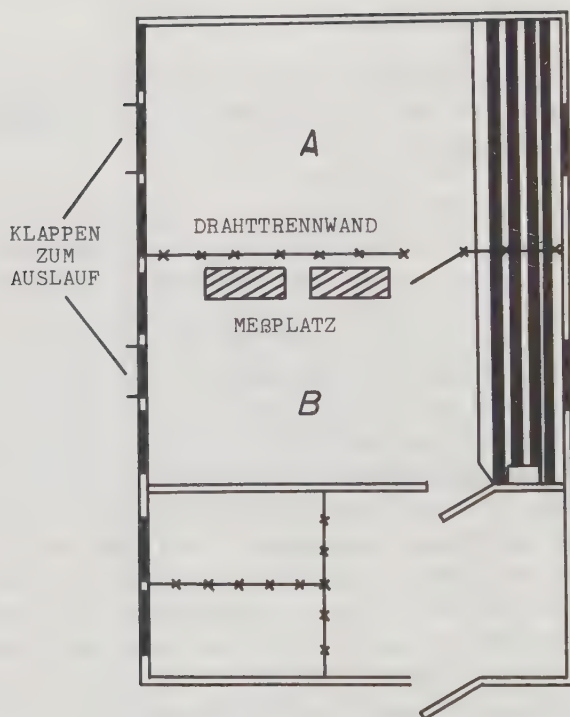


Abb. 1: Grundriß des Legehennenstalles
mit Angabe des Entnahmeplatzes

der Probenentnahme war die Zugangstür zum Stallabteil B geschlossen, die Fenster wurden in ihrer jeweiligen Stellung belassen.

B. Methodik

1. Versuchsgeräte und ihre Handhabung

a) Standard-Impinger

Als Impinger bezeichnet man Geräte, die zum Auswaschen und Anreichern der Luftkeime in einer Flüssigkeit hohe Ansauggeschwindigkeiten benutzen. Die Bezeichnung Impinger erklärt sich aus der Entwicklung des Gerätes in England und leitet sich von dem Verb to impinge - prallen, stoßen - ab. Es sind mehrere Impinger-Typen bekannt, die je nach Anforderung und Fragestellung unter verschiedenen Bedingungen betrieben werden und von denen sich noch keiner als optimal durchgesetzt hat.

Der von TYLER u. SHIPE 1959b beschriebene Ganz-Glas-Impinger (All-Glass-Impinger = AGI) ist eine Modifikation des von HENDERSON 1952 beschriebenen PORTON-Impingers. Er wird als AGI-4 bezeichnet, weil sich sein Kapillarende 4 mm über dem Gefäßboden befindet. Bei einer Durchflußrate von 12.5 l/min tritt an der Kapillaraustrittsöffnung eine Luftgeschwindigkeit von 270 m/sec auf. Eine Weiterentwicklung des AGI-4 beschreiben WOLF u. Mitarb. 1959 und BRACHMAN u. Mitarb. 1964. BRACHMAN u. Mitarb. bezeichnen dieses Gerät als AGI-30, da der Abstand zwischen Kapillarende und Gefäßboden auf 30 mm vergrößert wurde. Die Autoren schlagen vor, dieses Gerät als 'Standard-Sampler' in die Technik der Luftkeimuntersuchung einzuführen. Dieser 'Standard-Sampler' wird im folgenden als Standard-Impinger bezeichnet.

Für alle Versuche wurden die von der Fa. ACE-GLASS Inc. Vineland N.J., USA, hergestellten Gas-Waschflaschen mit der Typenbezeichnung - 7540 - Impinger, 'Air sampling' - verwendet, die mit dem von BRACHMAN u. Mitarb. 1964 empfohlenen Standard-Impinger 'AGI-30' identisch sind. Dieses Gerät ist in Abb. 2 dargestellt.

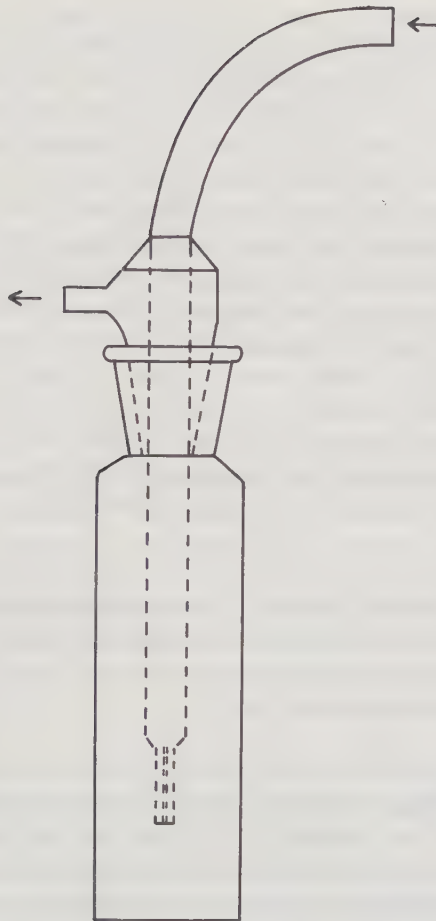


Abb. 2: Schematische Darstellung des
'Standard-Samplers' (AGI-30)
nach BRACHMAN u. Mitarb. 1964

Der Standard-Impinger ist ein vollständig aus Glas hergestelltes, flaschenähnliches, zweiteiliges Gerät von zylindrischer Form. Die eigentliche Flasche - das Unterteil des Gerätes - hat eine Höhe von 27 cm, einen Durchmesser von 4 cm und ein Volumen von 135 ml. Der Flaschenhals ist als Glasschliff von 23 mm Durchmesser gestaltet. Das Flaschenoberteil verschließt den Flaschenhals und trägt zwei Öffnungen. Die rechtwinklig abgebogene Ansaugöffnung ist ein Glasrohr mit einem Durchmesser von 9 mm. Es wird senkrecht in die Flasche eingeführt und endet 30 mm über dem Flaschenboden mit einer 27 mm langen Kapillare von 1 mm Durchmesser. Die zweite Öffnung dient zum Absaugen der Luft aus der Flasche; sie ist ebenfalls im rechten Winkel zum Flaschenhals abgebogen. Das Gerät ist nach Angabe des Herstellers in Übereinstimmung mit den Angaben BRACHMANs u. Mitarb. 1964 mit einer Ansaugleistung zwischen 12.3 und 12.6 l/min zu betreiben.

Diese Durchflußrate konnte bei den Hauptversuchen nicht eingehalten werden; sie lag zwischen 8.7 und 10.2 l/min. Die Gründe für diese Abweichungen werden unter III.D. und in der Besprechung diskutiert.

Als Waschflüssigkeit wurde die von TYLER u. SHIPE 1959a angegebene Lösung folgender Zusammensetzung benutzt: 2 g Gelatine, 4 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ auf 1000 ml Aqua dest. (pH 7.0). Diese Lösung wurde für vier Versuche, die an einem Tag durchgeführt wurden, am Vortage frisch hergestellt und im Dampftopf fraktioniert (mindestens zweimal à 60 min mit zwischenzeitlicher Abkühlung von mindestens drei bis maximal sechs Stunden) sterilisiert. Die pH-Einstellung erfolgte jeweils nach der ersten Sterilisation. Die Sterilität der Lösung wurde parallel mit jedem Versuchsansatz geprüft. Die Menge der Waschflüssigkeit betrug in Übereinstimmung mit HURTIIENNE 1967 konstant 60 ml

pro Standard-Impinger; sie wurde unmittelbar vor Versuchsbeginn unter laborüblichen keimarmen Bedingungen in den Standard-Impinger verbracht. Zur Unterdrückung übermäßiger Schaumbildung benutzte man wie HURTIIENNE 1967 fünf Tropfen Olivenöl.

Die Standard-Impinger wurden im Laufe der Versuchsvorbereitung zweimal zwischen 160° C und 170° C trocken sterilisiert, wobei die An- und Absaugöffnungen mit Watte verschlossen waren. Die Verarbeitung der Keimsuspension erfolgte sofort nach der Probenentnahme; sie ist unter III.B.3. beschrieben.

b) Membranfilter

Filtrationsverfahren wurden schon lange in der Luftkeimuntersuchung eingesetzt. Es kamen dabei in der Regel Materialien zur Anwendung, bei denen die Luftkeime in Filtermaterial abgeschieden wurden. Der Keimnachweis aus derartigen Filtern ist schwierig und mit erheblichen Fehlermöglichkeiten belastet (UHLIG 1953/54). Gegenüber diesen Verfahren besitzen Membranfilter den Vorteil der Abscheidung auf der Oberfläche.

Membranfilter sind in der Regel dünne Scheiben mit einer Dicke von durchschnittlich 250 Mikron; sie bestehen aus Cellulosederivaten und anderen Polymerstoffen (SARTORIUS-Membranfilter Handbuch). Infolge hoher Porenzahl pro Flächeneinheit und dadurch bedingtem großen Hohlraumvolumen (65 - 80 %) besitzen Membranfilter eine gute Durchfluß- bzw. Filtrationsleistung.

Für alle Hauptversuche wurden Membranfilter (im folgenden als MF abgekürzt) der Fa. SARTORIUS-Membranfilter, Göttingen, mit der Typenbezeichnung 11 303 verwendet. Für diesen MF-Typ werden vom Hersteller folgende technische Daten angegeben:

Porengröße

nach Hagen-Poiseuille	1.0 μm
nach Hg-Intrusions-Methode	1.2 μm

Durchlässigkeit

für H_2O (Druckdifferenz von 700 mm Hg)	300 $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$
für Luft (Druckdifferenz von 500 mm WS)	1.5 $\text{l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$

Die für meine Versuche benutzten MF besaßen einen Durchmesser von 50 mm bzw. eine wirksame Filtrationsfläche von 15.7 cm^2 . Die MF werden vom Hersteller - mit Äthylenoxid sterilisiert - in Packungen zu jeweils 100 Stück geliefert. Zur Sterilitätskontrolle wurden regelmäßig nicht exponierte MF unter keimarmen Laborbedingungen auf gewöhnlichen Nähragar aufgelegt, sechs Tage bei Zimmertemperatur bebrütet und am zweiten, vierten und sechsten Bebrütungstag ohne Öffnen der Nähragarplatte abgelesen. Von den sieben Kontrollen erwiesen sich fünf Kontrollen als steril; bei zwei Kontrollen wurde nach sechstägiger Bebrütung je eine Kolonie festgestellt. Die für die Hauptversuche verwandten MF gehörten einer einheitlichen Filtercharge der Nr. 570 an. Die in den Vorversuchen (s.III.C.2) benutzten MF des Typs 11 303 gehörten zur Charge 119, die des Typs 11 307 zur Charge 109.

Die MF wurden in geschlossene Luftfiltrationsgeräte (künftig als LFG abgekürzt), Typ SM 16213, 50 mm, der Fa. SARTORIUS-Membranfilter, Göttingen, eingelegt. Es standen zwei LFG-Gerätemodelle zur Verfügung (Herstellungsjahr 1969/70). Diese beiden aus rostfreiem Stahl gefertigten Geräte bestehen einheitlich aus einem trichterförmigen Unterteil mit Schlaucholive, eingelegter Metallsinterfritte aus Edelstahl als Filterunterstützung, zwei Dichtungsringen, einem trichterförmigen Aufsatz mit einer Schlaucholive und einem Verschlußring aus eloxiertem Aluminium. Dieses Gerät eignet sich nach Angaben

des Herstellers besonders für die Filtration von Stäuben und Gasen in Leitungssystemen und kann mit Drucken bis zu 50 atü belastet werden. Auf Anfrage teilte die Firma mit, daß eine Unterdruckbelastung dieses Gerätes bis zu 400 mm Hg möglich sei. Bei meinem Versuchsaufbau ergaben sich erhebliche Schwierigkeiten hinsichtlich der Dichtigkeit bei der Benutzung der LFG, die im Abschnitt III.D. zusammenfassend dargestellt sind. Das Zusammensetzen der Luftfiltrationsgeräte und das Einlegen der Membranfilter erfolgte im Labor unmittelbar vor Versuchsbeginn unter keimarmen Bedingungen.

Zur Versuchsvorbereitung wurden die Einzelteile der Luftfiltrationsgeräte in geschlossenen Glasschalen und unter Verschluss der Öffnungen mit Aluminiumfolie zweimal trocken bei 160° C bis 170° C sterilisiert. Die Dichtungsringe wurden bei 121° C autoklaviert und beim Zusammensetzen des LFG erneut abgeflammt. Die Vorbereitung der Gummischläuche beschränkte sich auf das Autoklavieren.

2. Bakteriologische Verarbeitung und Bewertung

Die bakteriologische Verarbeitung erfolgte sofort nach der Luftprobenentnahme im Labor und dauerte 2.0 - 3.0 Stunden. Bei den Hauptversuchen standen aus jeder Probenentnahme zur Verfügung:

- a. 60 ml Keimsuspension aus dem 1. Standard-Impinger
- b. 60 ml Keimsuspension aus dem 2. Standard-Impinger
- c. das MF

Die Verdünnung der Keimsuspensionen aus den Standard-Impingern wurde unter Verwendung der von UNTERMANN 1967 empfohlenen 0.1 %igen Pepton-NaCl-Lösung (aus 0.1 g Bacto-Pepton, 0.9 g NaCl ad 100 ml Aqua dest., pH 7.0) nach dem Röhrchenverfahren durchgeführt. Für den ersten Standard-Impinger wurde hierzu eine Verdünnungsreihe in den Stufen 1:5, 1:10, 1:50 und 1:100 und für

den zweiten Standard-Impinger eine Verdünnungsreihe in den Stufen 1:5 und 1:10 hergestellt. Zur Verbesserung der Homogenität der Suspension wurden der Verdünnungsanlage in den Reagenzröhrchen Glasperlen zugefügt; nach zweiminütigem, intensiven Schütteln erfolgte das Überpipettieren von Verdünnungsstufe zu Verdünnungsstufe einheitlich nach einer von UNTERMANN 1967 empfohlenen Technik: die Pipetten wurden durch Anlegen der Pipettenöffnung an die Reagenzröhrcheninnenwand entleert, ohne die Pipettenspitze in die Verdünnungsflüssigkeit einzutauchen. Von Verdünnungsstufe zu Verdünnungsstufe wurde ein Pipettenwechsel vorgenommen. Sowohl die Pipetten als auch die Reagenzglasöffnungen wurden beim Öffnen und Verschließen - unter Verwendung steriler Gummistopfen - abgeflammt.

Zur bakteriologischen Kultivierung der Keimsuspensionen wurde gewöhnlicher Nähragar - pH 7.2 (HALLMANN 1953) benutzt. Es wurden Einweg-Petri-Schalen mit einem Durchmesser von 90 mm verwendet. Mit ihren glatten und gut durchsichtigen Deckeln eigneten sie sich gut für die Zählung der Kolonien auf der Agaroberfläche. Die Nährböden wurden unter Laborbedingungen gegossen und vor ihrer Verwendung 18 Stunden bei 37° C zur Probe bebrütet. Aus jeder Verdünnungsstufe wurde aufgrund der Erfahrungen von KEMPMANN 1970 0.1 ml auf jede der drei parallelen Nähragar-Platten verimpft, wobei deren Deckel nur wenig und kurzzeitig geöffnet wurden. Das Ausspateln der verimpften Keimsuspension erfolgte mit sterilen DRIGALSKI-Spateln.

Die Membranfilter wurden mit zwei sterilen Pinzetten den Luftfiltrationsgeräten vorsichtig entnommen und auf den Nährboden unter leichtem Abrollen aufgelegt, um eine Luftblasenbildung zu vermeiden. Infolge Kapillarwirkung wurden die Membranfilter von unten her mit Nährmediumflüssigkeit durchfeuchtet und haften dadurch schnell am Nährboden fest. Die beimpften Nährböden wurden (mit dem Deckel nach unten) im Labor bei Zimmertem-

peratur bebrütet. Die mit einem Thermohygrographen laufend registrierte Zimmertemperatur (= Bebrütungstemperatur) variierte zwischen 18°C und 21.5°C und betrug im Mittel 19.9°C . Das Ablesen der Nährbodenplatten erfolgte am zweiten und vierten Tag ohne Öffnen und am sechsten Tag unter Öffnung der Nährbodenplatte durch Zählen der gewachsenen Kolonien. Hierzu wurde das Zählgerät 'Placont' der Fa. BOSKAMP Gerätebau-KG., Hersel, verwendet.

Zur Bewertung wurden in Anlehnung an UNTERMANN 1967 alle Nährbodenplatten herangezogen, deren Koloniezahl zwischen 20 und 200 pro Platte lag. Die ausgewerteten Platten rekrutierten sich vorwiegend aus den Verdünnungsstufen 1:50 und 1:10 mit 33 bzw. 24 %; aus den 22 Hauptversuchen standen von den je 15 angelegten Kulturen im Durchschnitt 6.0 Platten pro Versuch für die Keimzahlbestimmung zur Verfügung. Von den aus der Keimsuspension des 1. Standard-Impingers angelegten 308 Nährbodenplatten wiesen auf:

63 (= 20.3 %) eine Koloniezahl unter 20

128 (= 41.2 %) eine Koloniezahl zwischen 20 und 200

49 (= 15.9 %) eine Koloniezahl zwischen 200 und 700

68 (= 22.6 %) eine Koloniezahl über 700

Für die Berechnung des Keimgehaltes pro Liter Luft wurde die Koloniezahl der ausgewerteten Nähragarplatten unter Berücksichtigung des untersuchten Luftvolumens, der Menge der Waschflüssigkeit, der Verdünnungsstufe und der Verimpfungsmenge errechnet. In jeder Verdünnungsstufe wurden zur Kontrolle je eine unbeimpfte, eine mit 0.1 % Pepton-NaCl-Lösung beimpfte Nähragarplatte und eine Spatelkontrolle mitgeführt, um sekundäre Verunreinigungen auszuschließen.

3. Klimatische Messungen

Die Temperatur t und die relative Feuchte φ wurden mit einem Aspirationspsychrometer nach ASSMANN, Typ 761, und der Psychometerauswerttafel nach SONNTAG, der Fa. LAMBRECHT, Göttingen, ermittelt. Für die Messung der Luftgeschwindigkeit v_1 wurde das trockene Katathermometer nach HILL der Fa. LAMBRECHT, Göttingen, benutzt. Die Zeit für den Abfall der Alkoholsäule wurde bei jedem Versuch dreimal hintereinander gemessen; das Mittel dieser drei Messungen wurde der Auswertung zugrunde gelegt. Mit Hilfe einer Auswerttafel erfolgte über die gemessene Lufttemperatur t in Grad Celsius und die Abkühlungsgröße H die Ermittlung der Luftgeschwindigkeit v_1 im Stall. Die Luftgeschwindigkeit der Außenluft v_a wurde mit einem Schalenwindmesser, Typ 1439, der Fa. LAMBRECHT, Göttingen, der mit einem Zählwerk den Windweg registriert, gemessen. Aus zwei Ablesungen in einem bekannten Zeitabstand am Versuchsanfang und -ende wurde die durchschnittliche Windgeschwindigkeit der Außenluft v_a errechnet.

C. Methodische Vorversuche

1. Stellung des Trockenturmes in der Geräteanordnung

Bei Benutzung eines Standard-Impingers ist vor der Ansaugpumpe die Einschaltung eines Trockenturmes notwendig, um die Pumpe vor Feuchtigkeit zu schützen. Es war beabsichtigt, die aus dem Standard-Impinger abströmende Luft durch die Nachschaltung eines MF auf ihre Keimfreiheit zu prüfen. Orientierende Versuche bestätigen, daß ein MF hinter dem Standard-Impinger besonders dann den Druck im Ansaugsystem beeinflussen kann, wenn es durchfeuchtet wird. Dieser Durchfeuchtung ist es in besonderem Maße bei einer Anordnung direkt hinter dem Standard-Impinger ausgesetzt. Bei kurz gehaltenen Leitungen erreichen Schaumblasen der Waschflüssigkeit das Filter und verschließen einen mehr oder weniger großen Anteil seiner Poren, so daß sich der Strömungswiderstand erhöht. Diese Tatsache ist bekannt und kommt u.a. dadurch zum Ausdruck, daß die Herstellerfirma für die MF z w e i Angaben für die Durchlässigkeit macht: für Luft und für Wasser.

Sicher läßt sich diese Durchfeuchtungsgefahr ausschließen, wenn man einen CaCl_2 -Trockenturm v o r dem LFG mit dem MF anordnet. Es ist jedoch zu erwarten, daß dieser Trockenturm u.U. auch Luftkeime zurückhält, was den Wert der angestrebten Aussage über die tatsächliche Leistung des Standard-Impingers erheblich mindern könnte. Daher wurde ein Vorversuch durchgeführt, in dem geklärt werden sollte, inwieweit der Anteil der auf dem MF nachweisbaren Keime sich vermindert, wenn der CaCl_2 -Trockenturm vor dem MF liegt. Hierzu wurden fünf Versuche zeitparallel durchgeführt, in denen der Trockenturm einmal h i n t e r das LFG (Anordnung A) und einmal v o r das LFG (Anordnung B) eingegliedert war. Bei der Anordnung B wurde das MF durch eine 100 ml-Saugflasche geschützt, die evtl. überlau-

fende Flüssigkeit aus dem Standard-Impinger zurückhalten sollte. Mit einem MF aus Typs 11 303 wurden je Einzelversuch 25 l Stallluft angesaugt und der auf dem MF nachgewiesene Anteil der Gesamtkeimzahl errechnet.

Im Durchschnitt wies das MF nach: in Anordnung A 0,32 %, in Anordnung B 0,07 %. Diese Ergebnisse bestätigten die Vermutung, daß bei Anordnung des Trockenturmes vor dem MF ein gewisser Anteil der Keime, der unter den gegebenen Voraussetzungen bei 75 % liegt, vom Trockenturm absorbiert wird. Für die Hauptversuche wurde daher unter Verwendung der o.g. Saugflasche, die überschäumendes Wasser zurückhalten sollte, der Trockenturm h i n t e r dem MF angeordnet.

2. Leistungsdifferenzen verschiedener MF-Typen

Die MF sind in abgestuften Porengrößen erhältlich. Ein optimaler Keimnachweis wäre bei Benutzung eines MF mit der kleinsten Porengröße zu erwarten. Mit abnehmender Porengröße erhöht sich jedoch der Strömungswiderstand, wodurch im Ansaugsystem der Druck absinkt.

Bei Benutzung eines MF mit kleiner Porengröße ergeben sich versuchstechnisch folgende Nachteile:

- a. infolge Absinken des Druckes besteht die Gefahr, daß Nebeluft einströmt;
- b. zur Aufrechterhaltung der für den Standard-Impinger vorgeschriebenen Durchflußrate sind hochleistungsfähige Ansaugpumpen erforderlich, die jedoch aufgrund ihrer Unhandlichkeit den ambulanten Einsatz erschweren.

Daher sollte das MF ermittelt werden, das bei möglichst geringem Strömungswiderstand eine Bakterienabscheidung sicherstellt, die dem bakterienichten MF möglichst nahe kommt. Die Fa. SARTORIUS-

Membranfilter empfiehlt als bakteriendichtes MF den Typ 11 307. Hinter einen Standard-Impinger geschaltet, stellt sich bei vorgeschriebener Durchflußrate ein Druck von 0.59 at ein. Benutzt man den MF-Typ 11 303, der einen etwa sechsfachen Porendurchmesser besitzt, so wird ein Druck von 0.68 at gemessen. Beide Filtertypen sind mit einem grünen Gitternetzaufdruck lieferbar, was die Koloniezählung erheblich erleichtert.

In sechs Vergleichsmessungen mit einem Standard-Impinger und einem dahintergeschalteten MF werden für den MF-Typ 11 303 0.12 %, für den MF-Typ 11 307 0.18 % des Gesamtkeimgehaltes nachgewiesen. Obwohl sich die beiden Filtertypen in ihrer durchschnittlichen Abscheideleistung mit einem Verhältnis von 2:3 merklich unterscheiden, wurde dem MF-Typ 11 303 in Anbetracht der oben genannten technischen Vorteile für die Hauptversuche der Vorzug gegeben.

D. Aufbau und Betrieb der Geräteanordnung für die Hauptversuche

Mit der in den Vorversuchen entwickelten Versuchsanordnung Standard-Impinger, Saugflasche, Membranfilter, Ansaugpumpe, Rotameter, Gaszähler ergab sich, daß die vom MF nachgewiesenen Koloniezahlen bei einer Ansaugmenge von 100 l Stallluft im Durchschnitt über 1000 Kolonien lagen. Die Sicherheit der Ergebnissbewertung derart dicht bewachsener Membranfilter ist aufgrund der Erfahrungen in der Literatur als sehr gering anzusehen. Zur Verminderung dieser Koloniedichte wurde in das Ansaugsystem ein zweiter Standard-Impinger eingeordnet, so daß sich nun folgende Geräteanordnung ergab:

1. Standard-Impinger

2. Standard-Impinger

Saugflasche - zum Auffangen evtl. aus dem zweiten
Impinger überlaufender Waschflüssigkeit

Luftfiltrationsgerät - mit eingelegtem MF-Typ 11 303

CaCl₂-Trockenturm

Unterdruckdosenmanometer

regelbare Rotations-Öl-Pumpe 'MULTIFIX'

Rotameter

Balgengaszähler

Standard-Impinger, Saugflasche, Luftfiltrationsgerät und CaCl₂-Trockenturm wurden bereits im einzelnen besprochen. Zur Messung des Unterdruckes wurde ein Unterdruckdosenmanometer der Fa. DOSCH, Berlin, benutzt. Als Ansaugpumpe wurde ein regelbarer Vielzweckmotor M 80 mit angeflanschter Saug-/Druckluftpumpe M 822 der Fa. MULTIFIX verwandt. Das angesaugte Luftvolumen wurde von einem Gasbalgengzähler (Fa. KROMSCHRÖDER AG., Berlin, Typ NB 3), der sich am Ende der Versuchsanordnung befand, registriert. Mit einem zwischen Zähler und Ansaugpumpe befindlichen 1000 l/h-Labor-Rotameter (Fa. DOSCH, Berlin) wurde zur Erleichterung der laufenden

Überwachung die Durchflußrate kontrolliert. Wicht sie von dem Wert 750 l/min ab, so wurde sie durch Änderung der Pumpengeschwindigkeit reguliert, soweit die Pumpe eine evtl. notwendige Erhöhung der Leistung noch erlaubte.

Bei Betrieb eines Impingers ist ein Druck von 0.7 at erforderlich. Nach dem Hagen-Poiseuille'schen Gesetz, das die Strömung von Flüssigkeiten oder Gasen durch Rohre beschreibt, war bei Aufrechterhaltung der vorgeschriebenen Durchflußrate von 12.5 l/min bei Benutzung von **zwei** Standard-Impingern ein Druck von 0.4 at zu erwarten. Dieser Druck konnte mit den verfügbaren Pumpen zwar erzielt werden, jedoch ergab sich, daß bei diesem geringen Druck die Durchflußrate nur zwischen den Grenzwerten 8.7 und 10.2 l/min lag. Dieser Unterschied zwischen theoretisch erwarteter und tatsächlich gemessener Durchflußrate ist u.U. auf die Eingliederung des MF und des Trockenturmes zurückzuführen, die im Versuchssystem einen zusätzlichen Strömungswiderstand darstellen.

Unmittelbar vor Versuchsbeginn erfolgte unter laborüblichen keimarmen Bedingungen die Vorbereitung der Standard-Impinger und das Zusammensetzen der sterilisierten Luftfiltrationsgeräte. Die einzelnen Versuchsgeräte wurden in der oben beschriebenen Reihenfolge mit sterilen Gummischläuchen verbunden. Die Aufstellung der Meßgeräte erfolgte - ebenso wie alle Manipulationen am Versuchsort - unter Vermeidung stärkerer Luftbewegung, um die vorhandene Luftsituation möglichst wenig zu verändern.

Am Meßplatz wurden zwei voneinander getrennte, aber gleich aufgebaute Versuchssysteme auf zwei Experimentiertischen so angeordnet, daß sich die Ansaugöffnungen der Standard-Impinger in einer Entfernung von 0.20 m und in 0.95 m Höhe über dem Stallboden horizontal unmittelbar gegenüberstanden. Die Probenentnahme wurde mit beiden Versuchsanordnungen zeitparal-

lel durchgeführt und die Laufzeit der Ansaugpumpen mit Stoppuhren registriert. Vor Beginn und nach Beendigung einer Probenentnahme wurden am Meßplatz zwei Nähragarplatten nach dem KOCH'schen Absetzverfahren jeweils 3 sec und 5 sec exponiert. Außerdem wurden unmittelbar vor und nach jedem Versuch die Temperatur t , die relative Feuchte φ und die Luftgeschwindigkeit im Stall v_1 gemessen. Damit ergab sich für die Probenentnahme, die zwischen 90 und 135 min dauerte, folgendes Schema:

- a. Anfangsablesung des Windwegmessers der Außenluft
- b. Transport der Geräte zum Versuchsort und Aufbau der Versuchsanordnung
- c. Anfangsmessung der Temperatur und der relativen Feuchte der Stallluft
- d. KOCH'sche Absetzplatten
- e. zeitparallele Luftprobenentnahme mit beiden Versuchsanordnungen
- f. Endmessung der Temperatur, der relativen Feuchte der Stallluft und Katathermometermessung
- g. Endablesung des Windwegmessers der Außenluft
- h. Abbau und Rücktransport der Geräte zum Labor

E. Ergebnisse der Hauptversuche

Zur Beantwortung der gestellten Frage, eine Aussage über die Leistungsfähigkeit des Standard-Impingers unter Stallbedingungen experimentell zu ermitteln, wurden 22 Luftprobenentnahmen (= Hauptversuche) in einem Legehennenstall mit der beschriebenen Versuchsanordnung durchgeführt. Die Einzelheiten der Befunde sind in folgenden Tabellen dargestellt:

Tab. 3: Gesamt-Keimzahlen pro Liter Luft aus den drei Nachweisstufen der benutzten Versuchsanordnung bei 22 Versuchen

Tab. 4: Versuchsbedingungen der 22 Hauptversuche

Tab. 5: Relative Keimausbeuten aus den drei Nachweisstufen

1. Summe der nachgewiesenen Keimzahlen (Tabelle 3)

In Tabelle 3 finden sich unter Spalte 3 die mit zwei identischen Versuchsanordnungen (A und B) nachgewiesenen Gesamtkeimzahlen pro Liter Luft (GKZ/l Luft). Es zeigt sich, daß die GKZ während des Beobachtungszeitraumes relativ großen Schwankungen unterworfen sind. Die GKZ/l Luft beträgt im Durchschnitt 15 885, die Grenzwerte liegen bei 1 227 und 58 255.

Mit der Gesamtkeimzahl zeigen auch die Untersuchungsbedingungen (Tab. 4) erhebliche Unterschiede. So liegt die Temperatur t_1 der untersuchten Luft zwischen 17.3° und 23.0° C (Spalte 4), die relative Feuchte φ_1 zwischen 60 und 72 % (Spalte 5), die Luftgeschwindigkeit im Stall v_1 zwischen 0.11 und 0.27 m/sec (Spalte 6) und die Luftgeschwindigkeit außen v_a zwischen 0.1 und 1.3 m/sec (Spalte 7). Methodisch treten Druckunterschiede im Ansaugsystem zwischen 0.37 und 0.4 at (Spalte 2) und unterschiedliche Durchflußraten zwischen 8.7 und 10.2 l/min (Spalte 3)

1	2	3		4
Datum d. Versuche	Vers. Nr.	Summe der nachgewiesenen Keimzahlen (GKZ/l Luft)		Vers. Nr.
		A	B	
24.7.70	1	1643	1227	2
	3	2143	1876	4
18.8.70	5	9931	10686	6
	7	9446	16096	8
21.8.70	9	2197	2469	10
	11	4627	7478	12
27.8.70	13	40489	58255	14
2.9.70	15	32932	37756	16
	17	28772	27340	18
12.9.70	19	6896	7174	20
	21	20118	19918	22
Durchschnitte		14472	17298	
		15885		

Tab. 3: Summe der nachgewiesenen Keimzahlen pro Liter Luft aus den drei Nachweisstufen der benutzten Versuchsanordnung bei 22 Versuchen; zeitparallele Messungen sind in einer Zeile angeordnet (Versuchsanordnung A und B)

1	2	3	4	5	6	7
Vers. Nr.	Druck (at)	Durchflußrate (l/min)	θ^t (°C)	φ (%)	v_1 (m/sec)	v_2 (m/sec)
1 - 4	0.39	9.91	23.0	60	0.27	1.0
	0.38	9.93				
	0.39	9.93				
	0.37	9.94				
5 - 8	0.39	9.67	18.9	72	0.19	0.9
	0.40	8.69				
	0.40	9.23				
	0.39	8.94				
9 - 12	0.39	10.03	22.0	72	0.24	1.3
	0.38	9.58				
	0.40	10.15				
	0.39	9.28				
13 - 14	0.40	10.18	19.9	64	0.15	0.1
	0.37	9.92				
15 - 18	0.38	9.87	17.3	66	0.12	1.1
	0.40	9.87				
	0.40	10.00				
	0.40	9.73				
19 - 22	0.40	10.07	18.3	72	0.11	1.3
	0.40	9.96				
	0.40	10.07				
	0.40	9.66				

Tab. 4: Versuchsbedingungen der 22 Hauptversuche

Vers. Nr.	Keimzahlausbeute aus Impinger I (Kz _{Imp.I}) in %	Keimzahlausbeute aus Impinger II (Kz _{Imp.II}) in %	Keimzahlausbeute aus Membranfilter (Kz _{MF}) in %
1	99.629	0.365	0.006
2	99.505	0.488	0.007
3	99.413	0.560	0.027
4	99.677	0.319	0.004
5	99.773	0.221	0.006
6	99.848	0.145	0.007
7	99.905	0.082	0.013
8	99.900	0.096	0.004
9	99.912	0.081	0.007
10	99.427	0.558	0.015
11	99.802	0.168	0.030
12	99.892	0.104	0.004
13	99.658	0.340	0.002
14	99.778	0.219	0.003
15	99.842	0.156	0.002
16	99.958	0.041	0.001
17	99.924	0.068	0.008
18	99.854	0.144	0.002
19	99.908	0.087	0.005
20	99.828	0.167	0.005
21	99.909	0.089	0.002
22	99.909	0.090	0.001
$\bar{x}$	99.784	0.208	0.007
s	± 0.163	± 0.160	± 0.007

Tab. 5: 'Verbesserte' relative Keimausbeuten aus den drei Nachweisstufen der Versuchsanordnung in Prozent, bezogen auf die Summe der aus allen drei Nachweisstufen nachgewiesenen Keimzahlen

auf. Diese veränderlichen Bedingungen ließen es zweckmäßig erscheinen, ihren Einfluß auf die nachgewiesene GKZ zu prüfen. Der Einfluß dieser Versuchsbedingungen auf die Ausbeuten wird im Abschnitt IV.2. (Besprechung) untersucht.

Bei graphischer Darstellung der Zusammenhänge zwischen GKZ und der relativen Feuchte φ_1 und GKZ und der Windgeschwindigkeit v_1 wird keine Abhängigkeit erkennbar. Zwischen Temperatur t_1 und der GKZ hingegen zeigt sich folgende Tendenz: das Maximum der GKZ findet sich bei der niedrigsten, das Minimum bei der höchsten Temperatur. Der Beobachtungsbereich der 22 Messungen ist jedoch bei meinen Untersuchungen begrenzt; die Temperaturen liegen zwischen 17.3° und 23.0° C. In der Literatur sind von VÖLKESCH-PETZOLDT 1967 in keimarmen Räumen gegenteilige Tendenzen ermittelt worden, während im Stall derartige Zusammenhänge bisher nicht wahrscheinlich gemacht werden konnten. Daher sollte meinen Befunden keine allgemeinere Bedeutung beigemessen werden.

2. Keimausbeuten in den einzelnen Nachweisstufen (Tabelle 5)

Die benutzte Versuchsanordnung ist nach dem in der Literatur gegebenen Überblick über die möglichen Prinzipien der Prüfung der Keimausbeute als 'verbessertes Verfahren zum Nachweis der relativen Ausbeute' zu bezeichnen. Hierbei geht man davon aus, daß die Summe (GKZ) der mit einer Gerätekombination ermittelten Einzelkeimzahl (KZ) dem tatsächlichen Keimgehalt der Luft relativ nahekommt. Die GKZ ergibt sich also aus:

$$GKZ = KZ_{\text{Imp.I}} + KZ_{\text{Imp.II}} + KZ_{\text{MF}} = 100 \%$$

Auffällig ist, daß bei den Impingern der Anteil der nachgewiesenen Pilze augenscheinlich deutlich kleiner ist als auf dem MF. Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß Impinger für Pilze ein relativ höheres Durchlaßvermögen besitzen als für Bakterien. Diese Frage bedarf jedoch einer weiteren Überprüfung.

3. Zeitparallele Messungen mit dem Standard-Impinger

Neben der Prüfung der Ausbeute ist für die Leistungsbeurteilung eines Luftkeimsammelgerätes die Sicherheit der Reproduzierbarkeit eines Ergebnisses von Interesse. Zur Prüfung dieser Frage wurden die 22 Hauptversuche paarweise mit zwei identischen Versuchsanordnungen (Versuchsanordnung A und Versuchsanordnung B) durchgeführt, so daß stets zwei Messungen zeitparallel erfolgten. Die nachgewiesenen GKZ sind in Tabelle 3, Spalte 3, so dargestellt, daß die zeitparallelen Messungen auf einer Zeile stehen. Im Mittel ergibt sich mit der Versuchsanordnung A eine Keimzahl von 14 472, mit der Versuchsanordnung B eine Keimzahl von 17 298 pro Liter Luft. Die Versuchsanordnung A weist damit im Mittel nur 83.5 % der mit der Versuchsanordnung B ermittelten Keimzahlen nach. Systemgebundene methodische Fehler scheinen dabei keine wesentliche Rolle zu spielen, da bei den Einzelversuchen 4mal mit der Versuchsanordnung A und 7mal mit der Versuchsanordnung B eine höhere Keimzahl ermittelt wurde. Bei den Einzelpaaren der Parallelmessungen liegt die kleinere der beiden nachgewiesenen Gesamtkeimzahlen zwischen 58.7 % und 99.0 % der größeren. Rechnerisch ergibt sich aus den 11 Einzelpaaren, daß die tiefere der nachgewiesenen GKZ im Durchschnitt nur 82.8 ± 13.5 % der höheren beträgt. Für die nähere statistische Analyse der Beziehungen zwischen den Ergebnissen der beiden Versuchsanordnungen wird auf IV. 3. verwiesen.

IV. Besprechung =====

1. Benutzte Versuchsanordnung

Die für die vorliegenden Untersuchungen verwendete Versuchsanordnung, deren Zusammenstellung in Anlehnung an McDANIEL u. LONG 1954 und WANNER u. DEUBER 1969 erfolgte, ist in Aufbau und Arbeitsweise im Abschnitt III.B. und III.D. im einzelnen dargestellt. Schwierigkeiten entstanden bei dem Aufbau hinsichtlich der Dichtigkeit des Ansaugsystems gegenüber Fremdluft, da der Druck auf 0.38 at sank. Die Erarbeitung entsprechender Sicherungen durch Feststellung der Undichtigkeiten im System waren wesentlicher Bestandteil der Versuchsvorarbeiten. Die Leistungsregelung der Ansaugpumpen wurde an der Höhe des Rotameterkegels orientiert. Diese Höhe war so gewählt, daß sie bei Versuchsbeginn an der oberen Grenze der Pumpenleistungsfähigkeit lag. Als Anzeigewert am Rotameter ergab sich dabei eine Durchflußrate von 750 l/h, was einer Durchflußrate von 12.5 l/min entspricht. Zur Kontrolle der Dichtigkeit des Ansaugsystems wurden folgende Ablesungen bzw. Beobachtungen durchgeführt:

Unterdruck vor der Ansaugpumpe; er mußte mindestens auf 0.4 at abfallen und sollte 0.385 at nicht unterschreiten;

Länge der erforderlichen Zeit für das Ansaugen von 100 l Luft (Balgengaszähler); diese Messung war Grundlage der Berechnung der Durchflußrate; diese Zeit lag erfahrungsgemäß im Bereich von 585 - 630 sec;

der Membranfilterrand sollte nach 144-stündiger Bebrütung bei Zimmertemperatur frei von Koloniewachstum sein; ein Versuch wurde nur dann in die Auswertung mit einbezogen, wenn die Zahl der randständigen Kolonien nicht größer als 5 war.

Unbefriedigend blieb bei der Versuchsanordnung, daß

- a. die Durchflußrate unter dem von BRACHMAN u. Mitarb. 1964 empfohlenem Wert von 12.5 l/min blieb,
- b. die Durchflußrate nicht konstant gehalten werden konnte,
- c. der benutzte Membranfiltertyp nicht absolut bakterien-dicht war und
- d. das Membranfilter nicht mit einer optimalen Durchfluß-rate betrieben wurde.

zu a. Die unter dem Richtwert der Betriebsanweisung liegende Ansauggeschwindigkeit ergab sich aus der Leistungsbegrenzung der verfügbaren Pumpen. In der Versuchsanordnung A betrug die durchschnittliche Durchflußrate 9.92 l/min (= 79.5 % der vorgeschriebenen), in der Versuchsanordnung B 9.59 l/min (= 76.7 % der vorgeschriebenen), im Mittel betrug sie 9.76 l/min (= 78.0 % der vorgeschriebenen).

zu b. Die Durchflußrate konnte mit einer Anfangseinstellung nicht für die ganze Entnahmedauer konstant gehalten werden, da die zwei benutzten Pumpen - trotz einer vor jedem Versuch liegenden, mindestens 10-minütigen Einlaufzeit - ihre Leistung während des Betriebes etwas steigerten. Daher wurden die Pumpen im Durchschnitt zwei- bis dreimal je Versuch nachgeregelt, um den Kegel des Rotameters auf der festgelegten Höhe zu halten. Es ist zu vermuten, daß zu der Inkonstanz der Ansaugleistung neben der Pumpeneigenart auch der CaCl_2 -Trockenturm im Ansaugsystem beitrug. Eine Trockenturmfüllung reichte für sechs Versuche aus. Der Strömungswiderstand des Trockenturmes änderte sich vermutlich während der Versuche infolge der Wasserretention, die für die angesaugte Luftmenge von 100 l etwa 2.0 g H_2O betrug. So ergab sich bei den 22 Hauptversuchen eine Durchflußrate beim Einzelversuch zwischen 8.69 und 10.18 l/min, wobei der Druck auf 0.37 bzw. 0.40 at absank.

zu c. Der bei den Versuchen eingesetzte MF-Typ 11 303, der sich zwar bei den Vorversuchen als leistungsschwächer erwiesen hatte als der von der Herstellungsfirma zur Keimzahlbestimmung aus Wasser, Getränken und Lebensmitteln empfohlene MF-Typ 11 307, wurde jedoch trotzdem für die Hauptversuche benutzt, da seine Luftdurchlässigkeit nach Angabe der Firma etwa das Sechsfache (bei 700 mm Hg Druckdifferenz) des MF-Typs 11 307 beträgt. Diese höhere Luftdurchlässigkeit bewirkte, daß der Einbau des MF-Typs 11 303 in das Versuchssystem keinen wesentlichen Einfluß auf den sich einstellenden Unterdruck nahm, während der MF-Typ 11 307 den Druck im Ansaugsystem um 0.09 at verringerte. Eine solche Druckminderung erhöhte die Gefahr des Ansaugens von Fremdluft, was aufgrund der o.g. Schwierigkeiten vermieden werden sollte. Darum wurde das verminderte Rückhaltevermögen des MF-Typ 11 303 in Kauf genommen.

zu d. SPURNY u. MACHALA 1966/67 geben an, daß man mit einer höheren Durchflußrate eine verbesserte Abscheideleistung von Mikroorganismen aus der Luft auf einem Membranfilter erzielt. Sie benutzten als höchste Durchflußrate 1.9 l/min cm² Filterfläche und fanden dabei die beste relative Abscheideleistung. Bei den eigenen Versuchen lag die so normierte Durchflußrate bei 0.6 l/min cm² Filterfläche. Zwar ist zu erwarten, daß die von SPURNY u. MACHALA gefundene Abhängigkeit auch vom Typ des benutzten MF und von der Art der Untersuchungsluft abhängig ist; es kann nicht ausgeschlossen werden, daß die von mir benutzte - unter den Empfehlungen von SPURNY u. MACHALA liegende - Durchflußrate zu einer verminderten Abscheideleistung des MF im Ansaugsystem beigetragen hat.

Damit kann die benutzte Versuchsanordnung nicht als ideale Gerätekombination zur Beantwortung der gestellten Frage nach der Leistungsfähigkeit des Standard-Impingers bezeichnet werden. Der gewählte Geräteaufbau ist ein Kompromiß zwischen

der Idealanforderung und den technischen Möglichkeiten. Er ist nach den im Literaturteil unter II.D.1. erläuterten Möglichkeiten zur Beurteilung der Ausbeute eines Luftkeimsammelgerätes zu der Gruppe 'Verbesserte Verfahren zur Bestimmung der relativen Ausbeute' zu stellen.

2. Ausbeute des Standard-Impingers

Die benutzte Versuchsanordnung zur Prüfung der Ausbeute des Standard-Impingers ist gemäß den Darlegungen im Abschnitt II.B.1. als eine verbesserte Methode zur Bestimmung der relativen Ausbeute zu bezeichnen. Als begrenzende Versuchsergebnisse sind herauszustellen:

1. Der Keimgehalt der untersuchten Luft war mit Keimzahlen zwischen 1 227 und 58 255 Keimen /l Luft relativ hoch und variierte sehr stark.
2. Die geprüften Luftkeime waren originär in der Luft, d.h. sie besaßen den stallüblichen Quellungs- und Vitalitätszustand, was einen Vergleich mit Befunden an künstlichen Keimaerosolen sehr erschwerte.
3. Die untersuchte, relativ staubreiche Luft hatte eine Temperatur zwischen 17.3° und 23.0° C und eine relative Feuchte zwischen 60 und 72 %. Die Luftbewegung im Stall lag zwischen 0.11 und 0.27 m/sec.
4. Die Bestimmung der Keimzahl beschränkte sich auf solche Bakterien, Hefen und Pilze, die auf gewöhnlichem Nähragar bei einer Bebrütungstemperatur zwischen 18° und 22° C bei einer Bebrütungsdauer von sechs Tagen zur Bildung mikroskopisch sichtbarer Kolonien führten.

Die Ausbeute des ersten Standard-Impingers wurde im Mittel mit 99.748 ± 0.163 % errechnet. Ein direkter Vergleich dieses Ergebnisses mit dem anderer Autoren ist nicht möglich,

da sie entweder eine andere Versuchsanordnung benutzen oder unter anderen Gegebenheiten - besonders hinsichtlich der Prüfluft - arbeiten.

Über die absolute Ausbeute des Standard-Impingers liegt lediglich eine Angabe von MAY u. HARPER 1957 vor. Sie finden in der Aerosolkammer unter Verwendung von künstlichen Aerosolen mit *Serr.marcescens* und *Bac.subtilis* für den Impinger 'AGI-30', der dem Standard-Impinger entspricht, eine mittlere Ausbeute von 97.6 %. Die von mir festgestellte, merklich höhere Ausbeute ist vermutlich in der Art der geprüften Keime begründet.

Apparativ steht die von mir benutzte, verbesserte Methode zur Ermittlung der relativen Ausbeute den Versuchsanordnungen von McDANIEL u. LONG 1954 und von WANNER u. DEUBER 1969 nahe. McDANIEL u. LONG ermitteln in einer Aerosolkammer durch Hintereinanderschalten von drei ROSEBURY-Impingern den Anteil der Ausbeute, der auf den ersten Impinger entfällt, mit 99.99 %. WANNER u. DEUBER stellen bei zwei hintereinander geschalteten GREENBURG-SMITH-Impingern unter relativ keimarmen Bedingungen fest, daß bei einer Ansaugmenge von über 1 000 l Luft der Anteil der Ausbeute des ersten Impingers im Mittel 98.7 % beträgt. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Arbeits- und Untersuchungsbedingungen erscheint es vertretbar, die eigenen Befunde als 'in Übereinstimmung' mit diesen Angaben zu bezeichnen.

Die vorgelegten Untersuchungen wurden unter stark wechselnden Gegebenheiten der zu prüfenden Stalluft durchgeführt. Es erschien daher notwendig, den Einfluß der drei wichtigsten Faktoren - der Keimzahl/l Luft, der Lufttemperatur und der relativen Feuchte der Stalluft - auf die Ausbeute des ersten Standard-Impingers zu prüfen. Dies erfolgte graphisch in den drei Abbildungen (Abb. 3 bis 5) und ergänzend durch den χ^2 -Test (WEBER 1967). Während hinsichtlich der Keimzahl pro Liter Luft (Abb.3) keine Beziehung zur Ausbeute erkennbar ist,

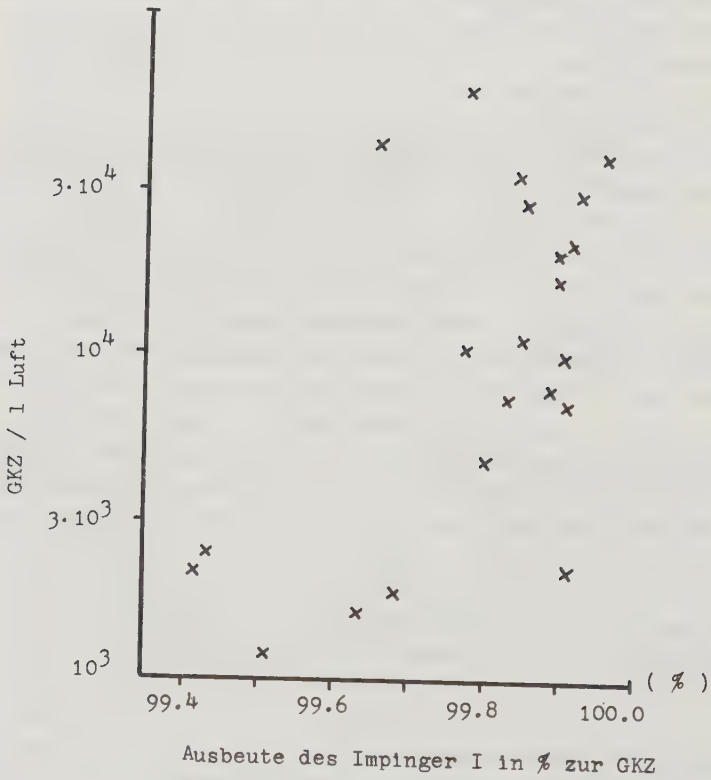


Abb. 3: Beziehung zwischen Gesamtkeimzahl (GKZ/l Luft) und relativer Ausbeute des Standard-Impinger I bei 22 Hauptversuchen

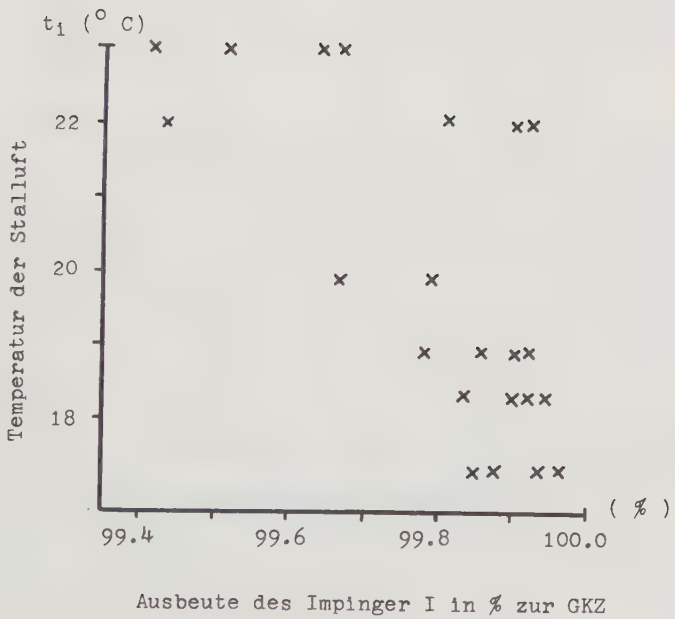


Abb. 4: Beziehung zwischen Stallufttemperatur t_1 und relativer Ausbeute des Standard-Impinger I bei 22 Hauptversuchen

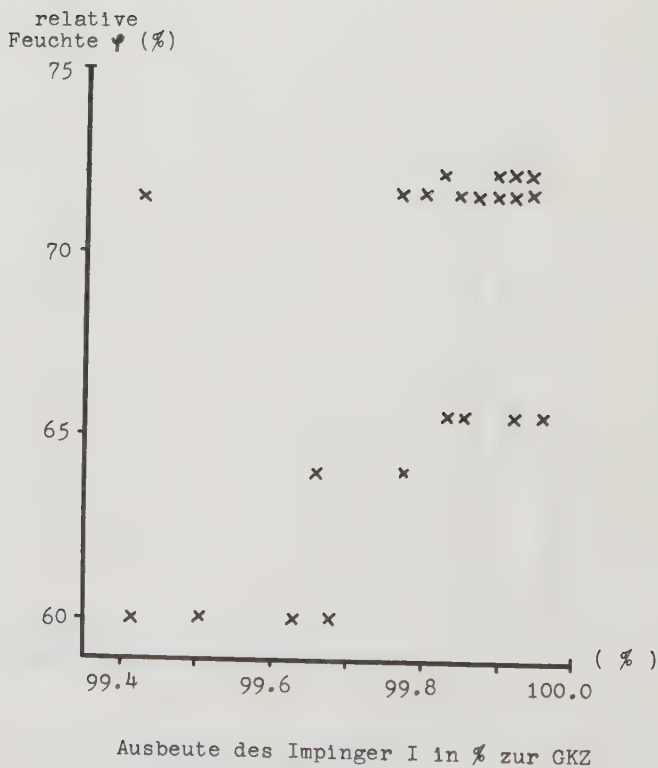


Abb. 5: Beziehung zwischen relativer Feuchte φ und relativer Ausbeute des Standard-Impinger I bei 22 Hauptversuchen

läßt sich bei der Temperatur (Abb. 4) und bei der relativen Feuchte (Abb. 5) ein schwacher Trend in dem Sinne erkennen, daß eine fallende Temperatur und eine steigende relative Feuchte die Ausbeute des ersten Standard-Impingers zu verbessern scheinen. Nach dem χ^2 -Test ergaben sich als Korrelationswerte

für die Temperatur	4.22
für die relative Feuchte	1.64

In Anbetracht der geringen Zahl an Einzelwerten werden diese beiden Korrelationswerte dahingehend interpretiert, daß den gefundenen Beziehungen keine allgemeinere Bedeutung zuzukommen scheint.

Bei den beiden wichtigsten, methodisch bedingten Einflußfaktoren - die Unterschiede in der Ansauggeschwindigkeit und im Unterdruck - ließen sich weder graphisch, noch im χ^2 -Test, noch bei Prüfung der Randwerte Einflußnahmen auf die Ausbeute des ersten Standard-Impingers wahrscheinlich machen oder erkennen. Nicht eindeutig zu beantworten ist die Frage, ob die relativ niedrige, mit nur 80 % wesentlich unter der Empfehlung liegende Durchflußrate die Gesamtzahl der nachgewiesenen Luftkeime und damit auch die relative Ausbeute des ersten Standard-Impingers beeinflußt hat. Die mit 0.2 % relativ geringe Ausbeute des zweiten Standard-Impingers spricht gegen einen solchen Einfluß, zumindest bei dem Keimreichtum der Prüfluft mit entsprechend kleinen Ansaug-Volumina (100 l) bzw. kurzen Entnahmezeiten (ca. 10 min), wie es bei den hier durchgeführten Versuchen der Fall war.

Aufgrund dieser Erörterungen und bestärkt durch die in der Literatur gemachten Angaben über die regelmäßig guten Leistungen des Standard-Impingers bei Gerätevergleichen wird die Meinung vertreten, daß unter Stallbedingungen der ermittelte Wert von 99.8 ± 0.2 % für die relative Ausbeute des Standard-Impingers nahe der absoluten Ausbeute liegt,

d.h., daß die mit dem Standard-Impinger nachgewiesene Keimzahl der tatsächlich in der Luft vorhandenen Keimzahl fast entspricht. Dabei wird davon ausgegangen, daß in Stallluft - wie sie bei meinen Untersuchungen vorlag - nur eine verschwindend kleine Zahl solcher Luftkeime vorhanden ist, die eine so empfindliche Lebensfähigkeit haben, daß sie durch den Auswaschvorgang geschädigt werden. Die experimentelle Prüfung dieser Annahme wäre zu begrüßen.

3. Zeitparallele Messungen

Eine Bewertung der zeitparallelen Messungen ist dadurch erheblich erschwert, daß die nachgewiesenen Gesamtkeimzahlen in weiten Grenzen zwischen 1 000 und 58 000 variieren. Bei dieser Situation und auch von der Fragestellung her scheint der von WANNER u. DEUBER 1969 benutzte t-Test kein optimales statistisches Prüfverfahren zur Bewertung der vorliegenden Parallelmessungen zu sein. Daher werden die aus den parallelen Messungen ermittelten Ergebnispaaire als Doppelbestimmung bewertet; die Einzelwerte gehen hier logarithmiert in die Berechnung ein, um multiplikative Effekte durch die großen Schwankungen der Gesamtkeimzahlen auszuschließen. Bei Benutzung des Logarithmus erhält man für die Standardabweichung $s = 0.082$.

Dieses logarithmische Streuungsmaß kann nicht mit $\pm$ angegeben werden, sondern müßte für jedes Wertepaar gesondert bestimmt werden. Beispielfhaft wurde diese Standardabweichung für die Extremwerte 1 000 und 60 000 für einen mittleren Wert von 20 000 auf eine absolute Keimzahl umgerechnet; es ergaben sich hierbei im einzelnen folgende obere und untere Grenzen:

<u>untere Grenze</u>	<u>Bezug</u>	<u>obere Grenze</u>
(K e i m z a h l / l L u f t)		
827	1 000	1 208
49 632	60 000	72 533
16 544	20 000	24 177

rechnerisch bedeutet das:

- 17.3 % 100 % + 20.9 %

In der Literatur liegen Angaben über zeitparallele Untersuchungen von WANNER u. DEUBER 1969 vor. Diese Autoren verwenden den GREENBURG-SMITH-Impinger und führen mit zwei gleichartigen Entnahmesystemen zeitparallele Messungen in Labor- und Arbeitsräumen und in der Außenluft durch. Ihre Ergebnisse lassen sich jedoch mit den von mir ermittelten nicht sinnvoll in Beziehung setzen, da die Werte nicht unter vergleichbaren Versuchsbedingungen (Versuchsgeräte, Keimgehalt, Verarbeitung und Auswertung) nachgewiesen wurden.

Bei den vorliegenden zeitparallelen Messungen ergeben sich sowohl bei einfacher prozentualer Gegenüberstellung (vgl. III.E.3.) als auch bei statistischer Analyse mit der Doppelbestimmung erhebliche Unterschiede zwischen den Ergebnissen. Die Ursachen dafür können liegen in:

- mangelnder Übereinstimmung der benutzten Entnahmegeräte,
- der Betreibung der Geräte mit einer zu niedrigen Ansauggeschwindigkeit,
- uneinheitlicher Verarbeitung,
- inhomogener Luftverteilung,
- den stark wechselnden Gesamtkeimzahlen der untersuchten Stalluft.

Da diese einzelnen Faktoren in ihrer Bedeutung für das Er-

gebnis nicht abgeschätzt werden können, gestatten die erhobenen Befunde keine Aussage, der eine gewisse Allgemeingültigkeit beigemessen werden könnte. Es wird vermutet, daß die Faktoren 'inhomogene Luftverteilung' und 'stark wechselnde Gesamtkeimzahl' die Hauptursachen für die gefundenen Unterschiede sind. Es wäre daher zweckmäßig, die Frage der methodischen Zuverlässigkeit des Standard-Impingers unter konstanteren Bedingungen erneut zu prüfen.

4. Zum Auswertungsverfahren

Die von KEMPMANN 1970 erhobenen Befunde zeigen, daß bei einer Untersuchung der Luftkeime das Ergebnis durch die Art der Auswertung deutlich beeinflußt wird. Dieser Einfluß ist besonders bei Benutzung von Verdünnungsreihen von Interesse, da nur in Ausnahmefällen

parallel angelegte Nährbodenplatten übereinstimmende Ergebnisse erbringen und eine exakte Proportionalität zwischen den nachgewiesenen Koloniezahlen sich in den verschiedenen Verdünnungsstufen errechnen läßt.

Bevorzugt findet der zweite Gesichtspunkt Berücksichtigung. Man hat die Erfahrung gemacht, daß diese Proportionalität von der Zahl der Kolonien, die auf der angelegten Nährbodenplatte gewachsen sind, abhängig ist. Diese Koloniezahl pro Nährbodenplatte wird im folgenden als 'Koloniedichte' bezeichnet. Die Proportionalität ist merklich schlechter bei besonders großer, aber auch bei besonders geringer Koloniedichte; optimale Ergebnisse erhält man in der Regel bei einer mittleren Koloniedichte. Man benutzt daher zur Auswertung in der Regel nur die Kulturen, deren Koloniedichte in einem umgrenzten Bereich liegt. Dieser Bereich der Koloniedichte, der u.a. als 'Auswertbereich' bezeichnet wird, wird unterschiedlich angegeben.

Als tiefster Wert wird recht einheitlich eine Koloniedichte von 30 und als höchster Wert eine Koloniedichte von 400 (SINELL u. Mitarb. 1965) benutzt. Die Empfehlungen für die Bemessung des Auswertbereichs liegen im allgemeinen innerhalb dieser Grenzen.

Der mir verfügbaren Literatur sind keine sicher belegten Feststellungen über die Zweckmäßigkeit der Bemessung eines Auswertbereiches zu entnehmen. Es erschien daher sinnvoll, diese Frage anhand des hier gewonnenen Untersuchungsmaterials zu bearbeiten, um besonders für die Gegebenheiten bei quantitativen Luftkeimgehaltsbestimmungen gewisse Anhaltspunkte für die optimale Bemessung des oben genannten Auswertbereiches zu gewinnen. Hierbei sollte einerseits die Frage der Proportionalität zwischen den Verdünnungsstufen und andererseits die Frage der Übereinstimmung der Ergebnisse bei Parallelplatten im Hinblick auf den Einfluß, den die Koloniedichte auf diese Fragen nimmt, überprüft werden.

a. Die Proportionalität zwischen den Verdünnungsstufen

Wegen der stark wechselnden Zahl der Luftkeime /l Luft in der untersuchten Stalluft war es nicht möglich, für diese Betrachtung nur eine Verdünnungsstufe zur Grundlage zu wählen. Stattdessen wurde in folgender Weise verfahren: In jeder Verdünnungsstufe mit je drei Parallelplatten wurde die durchschnittliche Koloniezahl (Koloniedichte) errechnet und dieser Wert einer der folgenden 11 Gruppen entsprechend zugeordnet:

Gruppe 1	Koloniedichte zwischen		0 und	10.0
" 2	"	"	10.1	" 20.0
" 3	"	"	20.1	" 30.0
" 4	"	"	30.1	" 50.0
" 5	"	"	50.1	" 100.0
" 6	"	"	100.1	" 200.0
" 7	"	"	200.1	" 300.0
" 8	"	"	300.1	" 400.0
" 9	"	"	400.1	" 700.0
" 10	"	"	700.1	" 1000.0
" 11	"	"	1000.1	" 1200.0

Auf der Grundlage dieser Gruppen wurde dann an drei Modellen A, B, C die gestellte Frage überprüft, indem drei verschiedene Auswertbereiche als Berechnungsgrundlage gewählt wurden:

Modell A = Abb. 6

Die durchschnittlichen Ergebnisse im Auswertbereich zwischen 20 und 200 Kol./Platte (= Gruppe 3 bis 6) werden als Bezugsgröße gleich 100 % gesetzt.

Modell B = Abb. 7

Die durchschnittlichen Ergebnisse im Auswertbereich zwischen 30 und 200 Kol./Platte (= Gruppe 4 bis 6) werden als Bezugsgröße gleich 100 % gesetzt.

Modell C = Abb. 8

Die durchschnittlichen Ergebnisse im Auswertbereich zwischen 50 und 100 Kol./Platte (= Gruppe 5) werden als Bezugsgröße gleich 100 % gesetzt.

Das Modell A entspricht dem von mir benutzten Auswertbereich. Das Modell B ist gegenüber dem Modell A nur hinsichtlich der unteren Grenze von 20 auf 30 verschoben, da diese Koloniedichte von mehreren Autoren (SPICHER 1962, SCHMIDT 1963, SINELL u. Mitarb. 1965, UNTERMANN 1967) als untere Grenze benutzt wird. Beim Modell C ist der bestimmende Auswertbereich drastisch verkleinert und etwa in die Mitte der zur Zeit benutzten Auswertbereiche gelegt worden.

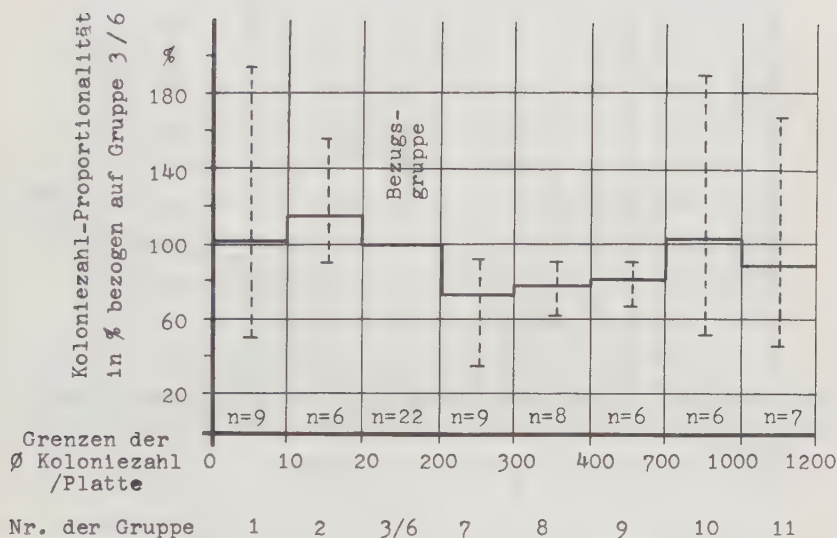


Abb. 6: Modell A

Vergleich der Proportionalität der Koloniedichte in Verdünnungsreihen, untergliedert nach Gruppen der Koloniezahl pro Nährbodenplatte; die Gruppenmittel und ihre dazugehörigen Extremwerte (= 'Range') sind dargestellt in Prozent zum durchschnittlichen Ergebnis der Gruppe mit einer

Koloniezahl zwischen 20 und 200 / Platte

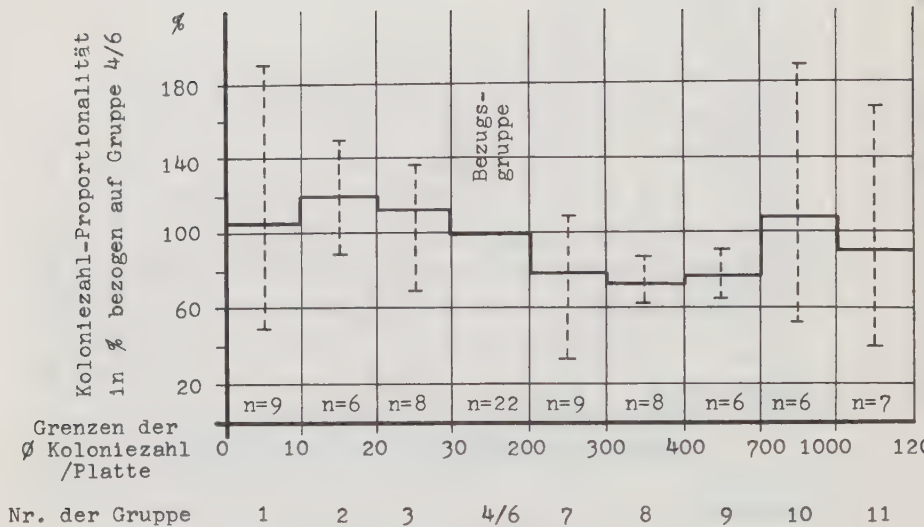


Abb. 7: Modell B

Vergleich der Proportionalität der Koloniedichte in Verdünnungsreihen, untergliedert nach Gruppen der Koloniezahl pro Nährbodenplatte; die Gruppenmittel und ihre zugehörigen Extremwerte (= 'Range') sind dargestellt in Prozent zum durchschnittlichen Ergebnis der Gruppe mit einer

Koloniezahl zwischen 30 und 200 / Platte

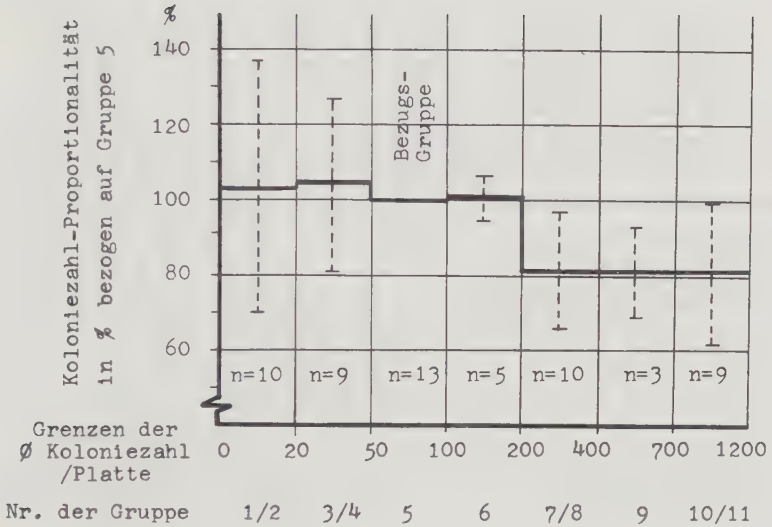


Abb. 8: Modell C

Vergleich der Proportionalität der Koloniedichte in Verdünnungsreihen, untergliedert nach Gruppen der Koloniezahl pro Nährbodenplatte; die Gruppenmittel und ihre Standardabweichung sind dargestellt in Prozent zum durchschnittlichen Ergebnis der Gruppe mit einer

Koloniezahl zwischen 50 und 100 / Platte

Die Ergebnisse, die außerhalb der Auswertbereiche lagen, wurden proportional der Verdünnungsstufe, die im Auswertbereich vorlag, so umgerechnet, daß ein direkter Vergleich der Koloniezahlen möglich wurde. Zur graphischen Darstellung wurden dann für jeden der 22 Hauptversuche - bzw. für den noch erfaßten Teil dieser Versuche - die im Auswertbereich ermittelten Koloniezahlen gleich 100 % gesetzt und die Ergebnisse der außerhalb liegenden Gruppen jeweils dazu durch Prozentberechnung in Beziehung gesetzt. So ergab sich in jeder Gruppe eine wechselnde Anzahl von Werten, die der Berechnung des Gruppenmittels zu Grunde gelegt wurden; die Zahl der Einzelwerte in den Gruppen ist in den Abbildungen 6 bis 8 als 'n = ' mit aufgeführt. Die Gruppenmittel dieser Prozentzahlen und die beobachteten Extremwerte (Abb. 6 und 7) bzw. die errechnete Standardabweichung (Abb. 8) sind dann zur Darstellung gebracht worden. Im optimalen Fall wäre zumindest für die Mittelwerte aller Gruppen einheitlich 100 % zu erwarten. Ein relativ höherer Koloniezahlenachweis führt zu einer Prozentzahl über 100, ein relativ niedriger zu einer unter 100. Die drei Modelle sind untereinander nur begrenzt vergleichbar, da sich in Abhängigkeit von Breite und Lage des bestimmenden Auswertbereiches eine unterschiedliche Zahl der Einzelwerte n in den einzelnen Gruppen ergibt.

In der Abbildung 6, die das Modell A darstellt, zeigt sich erwartungsgemäß, daß in den Gruppen unter dem bestimmenden Auswertbereich zwischen 20 bis 200 eine relativ höhere und bei denen über diesem eine relativ geringere Koloniezahl nachzuweisen ist. Allerdings läßt sich - entgegen der Erwartung - nicht bei geringerer Koloniedichte eine gleichmäßig steigende und auch nicht bei höherer Koloniedichte eine gleichmäßig fallende Koloniezahl ermitteln. Auffallend ist ferner, daß die Extremwerte sich in den Gruppen unterschiedlich verhalten. Es ist erkennbar, daß die Extremwerte

um so stärker die Tendenz haben, weiter vom Mittelwert entfernt zu liegen, je weiter die betrachtete Gruppe vom festgelegten Auswertbereich entfernt ist. Diese Tendenz ist u n t e r dem bestimmenden Auswertbereich deutlicher und steiler als ü b e r dem bestimmenden Auswertbereich.

In der Abbildung 7, die das Modell B darstellt, zeigt sich im allgemeinen ein dem Modell A entsprechendes Bild. Von Interesse ist hier speziell das Ergebnis von Gruppe 3 (= Koloniedichte 20 - 30). Diese Gruppe liegt im Mittel bereits mit + 13 % über dem des Auswertbereiches (= Koloniedichte 30 - 300) und damit schon näher dem Ergebnis von Gruppe 2 (= Koloniedichte 10 - 20), für die sich im Mittel + 21 % errechnen ließ. Der Abstand der Extremwerte voneinander ('Range') in diesen beiden Gruppen war mit 64 % (Gr.2) bzw. 68 % (Gr.3) beachtlich und fast gleich groß. Dieser Befund war Anlaß zur Prüfung der gestellten Frage auf der Grundlage eines erheblich kleiner bemessenen Auswertbereiches, wie ihn das Modell C mit einer Koloniedichte von 50 - 100 (= 10 %) benutzt.

Bei Benutzung dieses Modells C, das in Abbildung 8 dargestellt ist, ergaben sich folgende zahlenmäßige Befunde:

Gruppe	Bereich der Koloniedichte	Zahl der Einzelwerte (n)	Durchschnitt m. Standardabweichung
1+2	0 - 20	10	103.6±33.6 %
3+4	20 - 50	9	104.2±22.7 %
5	50 -100	13	100
6	100 -200	5	100.9± 6.1 %
7+8	200 -400	10	81.2±14.8 %
9	400 -700	3	81.1±12.2 %
10+11	700-1200	9	80.9±18.7 %

Optimale Übereinstimmung (+0.9 %) mit der kleinsten Standardabweichung zeigt die Gruppe 6 mit einer Koloniedichte zwischen 100 und 200. Dann folgt-entgegen der Erwartung-die Gruppe 1+2 (=Koloniedichte 0 - 20) mit + 3.6 %, allerdings mit der höchsten bei diesem Modell gefundenen Standardabweichung von + 33.6 %. Etwas höher liegt dann der Mittelwert der Gruppe 3+4 (= Koloniedichte 20 -50) mit + 4.2 % mit einer Standardabweichung von + 7 %. Die oberen Gruppen 7 bis 11 mit einer Koloniedichte über 200 liegen mit ihrem Mittelwert einheitlich bei 81 % mit einer Standardabweichung zwischen + 12 und + 18 %.

Aus diesen drei Modellen wird erkennbar, daß es nicht zweckmäßig ist, den Auswertbereich nur nach seinem durchschnittlichen Ergebnis im Hinblick auf Proportionalität zu bewerten, sondern daß man dabei auch die Streuungsbreite der Ergebnisse beachten sollte. Deshalb wird vor einer Gesamtbeurteilung erst noch die Prüfung der Streuungsbreite bei Parallelplatten im folgenden Abschnitt dargestellt. Eine Betrachtung auf dieser Grundlage erschien als Ergänzung sinnvoll, da bei den drei bereits besprochenen Modellen stets nur die Mittelwerte von drei Parallelplatten die Auswertungsgrundlage bildeten.

b. Streuungsbreite bei Parallelplatten (Variation)

Hierzu wurden 81 Kulturanlagen aus meinen Versuchen benutzt, bei denen je drei parallel angelegte und auszählbare Platten vorlagen. Jedes dieser Dreifachergebnisse wurde gemittelt und mit dem zugehörigen Maximum- und Minimumwert zusammengestellt. Bei nur drei Beobachtungswerten ist es nicht sinnvoll, eine Standardabweichung zu errechnen. Daher wurde nach einem anderen einfachen Verfahren zur Variationsbeurteilung gesucht. Den absoluten Zahlenunterschied zwischen Maximum und Minimum kann man als 'Range' bezeichnen. Er ist nur ein grobes Maß für die Variation, da er die Zahl der Werte, die innerhalb des

'Range' liegen, nicht berücksichtigt, was jedoch für die Bewertung von Parallelplatten von erheblicher Bedeutung ist. Deshalb wird für die Zwecke der Beurteilung eines 'Range' bei Parallelplatten vorgeschlagen, bei dem 'Range' die Zahl der Werte n (= Zahl der Parallelplatten) dadurch zu berücksichtigen, daß man diesen 'Range' durch die Zahl der Freiheitsgrade (= $n-1$) dividiert. Im vorliegenden Fall halbiert sich dadurch der 'Range', da sich für drei Glieder als Freiheitsgrad $F = 2$ ergibt. Dieses Variationsmaß wird im folgenden wegen der Berücksichtigung der Freiheitsgrade als 'Range_F' bezeichnet.

Auch dieser, die Zahl der Parallelplatten berücksichtigende absolute 'Range_F' kann nicht direkt für einen Vergleich in der beabsichtigten Art herangezogen werden, da die Grundzahlen (= Mittel aus drei Parallelplatten) ganz unterschiedliche Größe haben. Der 'Range_F' wird dadurch relativiert, daß er in Prozent zum zugehörigen Mittelwert ausgedrückt wird. In dieser Form, die als 'relativer Range_F' bezeichnet wird, werden die ermittelten Werte den eingangs genannten Gruppen verschiedener Koloniedichte zugeordnet und in jeder Gruppe der Mittelwert und die Extremwert bestimmt. Die Zusammenstellung der so gewonnenen Zahlen für das Maß der Variation 'relativer Range_F' zeigt Abbildung 9.

Der geringste relative Range_F wird hierbei mit einem Mittelwert von 8.6 % bei einer Koloniedichte zwischen 100 und 200 (= Gruppe 6), der größte bei einer Koloniedichte zwischen 0 und 10 (= Gruppe 1) mit 44.7 % ermittelt. Ein geringer relativer Range_F findet sich auch in den beiden Gruppen 5 und 7 mit Koloniedichten zwischen 50 und 100 bzw. 200 und 300. Im Bereich einer Koloniezahl unter 50/Platte steigt der relative Range_F deutlich höher als im Bereich über 300 Kolonien/Platte. Gleichsinnig mit dem relativen Range_F steigt

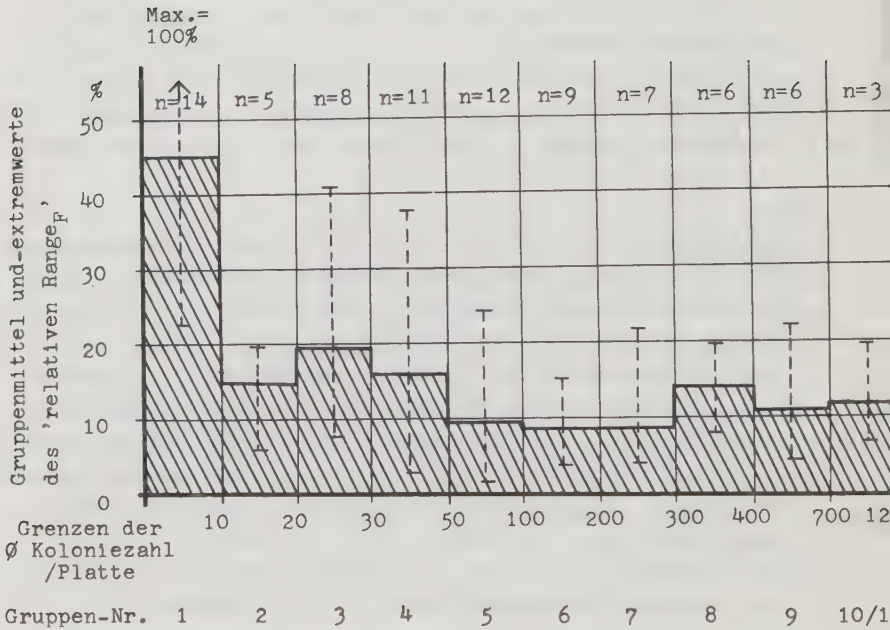


Abb. 9: Streuung der Koloniezahlen bei Parallelplatten, untergliedert nach Gruppen der Koloniezahl pro Nähragarplatte; die Gruppenmittel (= Höhe der schraffierten Säulen und ihre Extremwerte sind dargestellt als 'relativer Range_F' (s. Text)

m.o.w. regelmäßig auch der relative Abstand der Extremwerte in jeder Gruppe, was die Tendenz der Aussage des relativen Range_P in den einzelnen Gruppen bestätigt.

Die zwei Gruppen - Nr. 2 (= Koloniedichte 10-20) und Nr. 8 (= Koloniedichte 300-400) fallen aus der erkennbaren Tendenz durch zwei stark abweichende Einzelwerte heraus. Außerdem ist die Zahl der Einzelwerte relativ gering, so daß eine nähere statistische Analyse nicht sinnvoll erschien.

Die erhobenen auswerttechnischen Befunde, die sich einerseits auf die Proportionalität der Koloniezahl zwischen den Verdünnungsstufen und andererseits auf die Variation der Ergebnisse bei Parallelplatten beschränkten, können wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Bei der Beurteilung der kulturellen Ergebnisse aus Verdünnungsreihen kann auf die Fixierung eines Auswertbereiches nicht verzichtet werden. Er sollte regelmäßig mit dem Befund angegeben werden.
2. Dieser Auswertbereich sollte nicht nur anhand der durchschnittlichen Proportionalität zwischen den Verdünnungsstufen, sondern auch unter Berücksichtigung der Variation der Ergebnisse bei Parallelplatten bemessen werden.
3. Als optimaler Auswertbereich, der beide Faktoren berücksichtigt, kann eine Koloniezahl zwischen 50 - 200 /Platte genannt werden.
4. Die durchschnittliche Proportionalität scheint auch in einem größeren Bereich, besonders unter 50 Kolonien/Platte, noch gegeben zu sein. Eine Auswertung zwischen 20 und 50 Kolonien/Platte erscheint daher vertretbar, sofern die Variation der Ergebnisse bei den Parallelplatten in diesem

Bereich gemäß Punkt 5. noch ausreichend ist. Über eine Erweiterung des Auswertbereiches nach oben erlauben die eigenen Befunde keine Aussage.

5. Bei einer Erweiterung des Auswertbereiches, aber auch bei der Beurteilung der Qualität angelegter Verdünnungsreihen unter Benutzung von Parallelplatten sollte stärker als bisher üblich die Variation des Zählergebnisses berücksichtigt werden. Bei Benutzung des beschriebenen Maßes 'relativer Range_F' kann die Variation wie folgt bezeichnet werden:

	unter	5 %	als sehr gut
zwischen	5 und	10 %	als gut
"	10 und	15 %	als befriedigend
"	15 und	20 %	als ausreichend
"	über	20 %	als nicht ausreichend

V. Zusammenfassung

=====

Unter den keimreichen Bedingungen von Stallluft wurde in einem Legehennenstall mit Bodenhaltung die Leistungsfähigkeit des Standard-Impingers nach BRACHMAN u. Mitarb. 1964, der auch als 'AGI-30' bezeichnet wird, für den quantitativen Nachweis der Luftkeime geprüft. Dabei sollte eine Aussage über die Keimausbeute dieses Gerätes und über die Einheitlichkeit der Ergebnisse von Parallelmessungen gewonnen werden. Die Aussage über die Ausbeute wurde durch Hintereinanderschalten folgender drei Geräte ermittelt:

erstes Gerät: Standard-Impinger I

zweites Gerät: Standard-Impinger II

drittes Gerät: Membranfilter - Typ SM 11 303 - im Luftfiltrationsgerät

Diese Gerätekombination wurde zweifach aufgebaut und für die Beurteilung der Einheitlichkeit der Ergebnisse von gleichzeitigen Messungen zeitparallel betrieben. Bei den Untersuchungen lag die Zahl der nachgewiesenen Luftkeime/l zwischen 1 227 und 58 255. Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

1. Bei den drei hintereinander geschalteten Geräten entfielen bei 22 Messungen im Durchschnitt folgende relative Anteile auf die einzelnen Nachweisstufen:

Standard-Impinger I	$99.784 \pm 0.163 \%$
Standard-Impinger II	$0.208 \pm 0.160 \%$
Membranfilter	$0.007 \pm 0.007 \%$

Die relative Ausbeute des ersten Standard-Impingers wird mit $99.8 \pm 0.2 \%$ für Stallverhältnisse als gut bewertet.

2. Die zwischen 1.000 und 60 000/l variierende Zahl der Luftkeime in der untersuchten Stallluft nahm keinen erkennbaren Einfluß auf die ermittelten relativen Anteile des ersten Standard-Impingers. Die Temperatur und die relative Feuchte der Stallluft ließen insofern einen gewissen Einfluß erkennen, als die Ausbeute des ersten Standard-Impingers mit abnehmender Temperatur und mit zunehmender relativer Feuchte leicht anstieg. Eine allgemeinere Bedeutung ließ sich für diese Beziehungen nicht ableiten.
3. Bei 11 zeitparallelen Messungen mit zwei Standard-Impingern ergab sich eine mäßige Übereinstimmung der Ergebnisse. Im Durchschnitt lag die nachgewiesene Keimzahl bei der einen Gruppe 83.5 % unter der leistungsstärkeren Gruppe. Für eine Keimzahl von 60 000/l Luft läßt sich eine statistisch normierte Abweichung von + 12 500 (ca. + 21 %) und von - 10 400 Keimen (ca.-17 %) errechnen.
4. Bei der Prüfung der Proportionalität zwischen den Verdünnungsstufen und den nachgewiesenen Keimzahlen ergab sich, daß als optimaler Auswertbereich eine Koloniezahl zwischen 50 und 200/Nährbodenplatte empfohlen werden kann. Bei der Bewertung von Koloniezahlen sollte außerdem die Streubreite (Variation) des Ergebnisses bei parallel angelegten Kulturen mehr Beachtung finden. Ein entsprechendes Beurteilungsverfahren für einen 'relativen Range_F' wird angegeben.

VI. Literaturverzeichnis

=====

ALBRECHT, J.

Die Verwendung von Membranfiltern zum Nachweis
von Luftkeimen

Arch. Hyg. 141, 460-468 (1957)

ALBRECHT, J.

Methoden zum Nachweis von Mikroorganismen in
Aerosolform

Zschr. Aerosol-Forsch. 7, 50-61 (1958)

BARRAUD, C. u. Mitarb.

Standardisierung der aeroben Gesamtkeimzahlbe-
stimmung in Fleisch und Fleischerzeugnissen

Fleischwirtschaft 12, 1313-1319 (1967)

BAUR, F.

Linkes Meteorologisches Taschenbuch - Bd. 3

Akad. Verlagsanst., Leipzig (1957)

BOURDILLION, R. B., O. M. LIDWELL u. Mitarb.

Studies in air-hygiene

Med. Res. Council Spec. Report, Nr. 262, London (1948)

BRACHMAN, P. S. u. Mitarb.

Standard samplers for assay of airborne
microorganism

Science 144, 1295 (1964)

BUROW, H. u. H. G. HILLIGER

Vergleich des Bakterien- und Staubgehaltes
der Stalluft im Absetzverfahren

Tierärztl. Umschau 24, 155-158 (1969)

✓
FISER, A.

Luftkeimzahlbestimmungen in großen Schweinemastställen während der Sommer- und Winterperiode

Mhefte Vet. med. 22, 829-830 (1967)

GOLDBERG, I. J. u. I. L. SHECHMEISTER

Studies on the experimental epidemiology of respiratory infections;

V. Evaluation of factors related to slit sampling of air-borne bacteria

J. Inf. Dis. 88, 243-247 (1951)

GUNDERMANN, K.-O.

Krankenhaushygiene und infektiöser Hospitalismus
Habilitationsschrift, Kiel, (1969)

HAFERKORN, R. u. Mitarb.

Vergleichende Untersuchungen über Nachweisverfahren von Bakteriophagen aus Aerosolen sowie über das Rückhaltevermögen von Filtern und Impingern für Bakteriophagenaerosole

Arch. Hyg. 152, 97 (1968)

HALLMANN, L.

Bakteriologische Nährböden

Thieme, Stuttgart (1953)

HENDERSON, D. W.

An apparatus for the study of air-borne infection

J. Hyg. 50, 52-68 (1952)

HILLIGER, H. G.

Zusammenhänge zwischen Staub und Bakteriengehalt der Stallluft

Wien. tierärztl. Mschr. 56, 148-150 (1969a)

HILLIGER, H. G.

Die Eignung des CASELLA-Schlitzsammler für den Bakteriennachweis in Stallluft

Gesd. Ing. 90, 51-53 (1969b)

HÖRTER, R. u. K. KLEIN

Untersuchungen über die Eignung verschiedener Verdünnungsflüssigkeiten und Kulturverfahren für die kulturelle Keimzählung an pelletierten Futtermittelproben

Zbl.Bakt. Abt. I Orig. 211, 248-252 (1969)

HOFFMANN, H. u. W. RICHTER

Der Keimgehalt der Luft - ein beachtenswerter Faktor in Schweinemastställen beim Einsatz von staubförmigen Trockenfutter

Mhefte Vet. med. 19, 567-573 (1964)

HURTIIENNE, H.

Vergleich zwischen mehreren Verfahren zur Bestimmung des Keimgehaltes der Stallluft unter verschiedenen Bedingungen

Vet. med. Diss. Berlin FU (1967)

JUNGE, C.

Die Konstitution des atmosphärischen Aerosols

Ann. Meteor. 5, Beih. S. 1-55 (1962)

KANZ, E.

Staub als Bakterienträger in Arbeitsräumen

Staub 26, 318-322 (1966)

KEMPMANN, M.

Vergleichende Untersuchungen zur Luftkeimgehaltsbestimmung mit dem Standard-Impinger-Verfahren und dem Gelatinefilter-Verfahren in einem Legehennenstall

Vet. med. Diss. Berlin FU (1969)

KLIEWE, H. u. E. v. WASIELEWSKI

Physikalische Eigenschaften von keimtötenden
Aerosolen und künstlichen Keimnebeln

Zschr. Hyg. 134, 1-23 (1952)

KRUSE, M.

Ein neues Verfahren zur Bestimmung des Keim-
gehaltes der Luft

Gesd.-Ing. 69, 199-201 (1948)

LUDLAM, F. H.

The circulation of air, water and particles in
the troposphere

in: Airborne microbes

Univ. Press, Cambridge (1967), 1-17

MACHALA, O.

Zur Detektion der mikrobiellen Aerosole mit der
Membranfiltermethode

Zbl. biol. Aerosol-Forsch. 12, 519-529 (1964/65)

McDANIEL, L. E. u. R. A. LONG

Laboratory equipment for testing filtering
materials for air sterilization

Appl. Microbiol. 2, 240-242 (1954)

MAIER, K. H. u. K. VOGGEL

Wasserlösliche Filter und ihre Verwendung in
der Luftkeimuntersuchung

G-I-T Fachzschr. f. d. Labor 9, 119-126 (1965)

MAY, K. R. u. G. I. HARPER

The efficiency of various liquid impinger samplers
in bacterial aerosols

Brit. J. Ind. Med. 14, 287-297 (1957)

MOSSEL, D. A. A.

The practical significance in the microbiological examination of cold stored foods of the allegedly low heat resistance among psychrotrophic organisms
J. Appl. Bact. 27, 221-223 (1964)

NIEMANN, A.

Z. Aerosol - Forsch. Bd. 4, 105 (1955)

Zit.nach REIFFERSCHIED, H.:

Das atmosphärische Aerosol:
'luftchemischer Wirkungskomplex'

in: Handbuch der Bäder- und Klimaheilkunde,
549-577, 1957

NOBLE, W. C.

Sampling Airborne microbes -
Handling the catch

in: Airborne microbes
Univ. Press, Cambridge (1967), 81-101

PETRAS, E.

Zur Isolierung von Luftkeimen mittels feinporiger
Filter

Arch. Mikrobiol. 55, 93-109 (1966)

REIFFERSCHIED, H.

Der biologische Anteil des Aerosols und seine
meßtechnische Erfassung

Ber. d. dtsh. Wetterdienstes (Offenbach) 12,
Nr. 91, 92-95 (1963)

ROSEBURY, T.

Experimental air-borne infection

WILLIAMS u. WILKINS, Baltimore (1947)

SCHIFF, W. u. R. FONROBERT

Zur Problematik quantitativer Luftkeimgehalts-
bestimmungen

Vortrag auf d. XVII. Hyg. Colloq. d. Fa.
Th. Goldschmidt AG., Essen (1970)

SCHMAUSS, A. u. A. WIEGAND

Die Atmosphäre als Kolloid

Sammlung Vieweg, Braunschweig, Heft 96 (1929)

SCHMIDT, H. L.

Bemerkungen zur Vereinheitlichung der Keimzählung
bei der Untersuchung von Futtermitteln

Landwirtsch. **Forsch.** 16, 51-64 (1963)

SCHMIDT-LORENZ, W.

Über den Einfluß der Verdünnungslösungen auf das
Ergebnis von Bakterienzählungen bei bestrahltem
und gefrorenem Fisch

Arch. Lebensmittelhyg. 11, 60-63 (1960)

SHIPE, E. L. u. M. E. TYLER

Bacterial aerosol samplers

II. Development and evaluation of the Shipe-Sampler

Appl. Microbiol. 7, 349 -354 (1959)

SINELL, H. J., REUTER, G. u. F. UNTERMANN

Zur Standardisierung der aeroben Gesamtkeimzahl-
bestimmung in Fleisch und Fleischerzeugnissen

Arch. Lebensmittelhyg. 16, 217-224 (1965).

SPICHER, G.

Die Ermittlung des Keimgehaltes von Getreide und
Getreideprodukten und ihre Problematik

Bröt u. Gebäck 16, 124-134 (1962)

SPURNY, K. u. O. MACHALA

Eine Bemerkung zur Wirksamkeit der Membranfilter
für mikrobiale Aerosole

Zbl. biol. Aerosolforsch. 13, 566-569 (1966/67)

MOSSEL, D. A. A.

The practical significance in the microbiological examination of cold stored foods of the allegedly low heat resistance among psychrotrophic organisms
J. Appl. Bact. 27, 221-223 (1964)

NIEMANN, A.

Z. Aerosol - Forsch. Bd. 4, 105 (1955)

Zit.nach REIFFERSCHIED, H.:

Das atmosphärische Aerosol:
'luftchemischer Wirkungskomplex'

in: Handbuch der Bäder- und Klimaheilkunde,
549-577, 1957

NOBLE, W. C.

Sampling Airborne microbes -
Handling the catch

in: Airborne microbes
Univ. Press, Cambridge (1967), 81-101

PETRAS, E.

Zur Isolierung von Luftkeimen mittels feinporiger
Filter

Arch. Mikrobiol. 55, 93-109 (1966)

REIFFERSCHIED, H.

Der biologische Anteil des Aerosols und seine
messtechnische Erfassung

Ber. d. dtsh. Wetterdienstes (Offenbach) 12,
Nr. 91, 92-95 (1963)

ROSEBURY, T.

Experimental air-borne infection

WILLIAMS u. WILKINS, Baltimore (1947)

SCHIFF, W. u. R. FONROBERT

Zur Problematik quantitativer Luftkeimgehalts-
bestimmungen

Vortrag auf d. XVII. Hyg. Colloq. d. Fa.
Th. Goldschmidt AG., Essen (1970)

SCHMAUSS, A. u. A. WIEGAND

Die Atmosphäre als Kolloid

Sammlung Vieweg, Braunschweig, Heft 96 (1929)

SCHMIDT, H. L.

Bemerkungen zur Vereinheitlichung der Keimzählung
bei der Untersuchung von Futtermitteln

Landwirtsch. **Forsch.** 16, 51-64 (1963)

SCHMIDT-LORENZ, W.

Über den Einfluß der Verdünnungslösungen auf das
Ergebnis von Bakterienzählungen bei bestrahltem
und gefrorenem Fisch

Arch. Lebensmittelhyg. 11, 60-63 (1960)

SHIPE, E. L. u. M. E. TYLER

Bacterial aerosol samplers

II. Development and evaluation of the Shipe-Sampler

Apl. Microbiol. 7, 349 -354 (1959)

SINELL, H. J., REUTER, G. u. F. UNTERMANN

Zur Standardisierung der aeroben Gesamtkeimzahl-
bestimmung in Fleisch und Fleischerzeugnissen

Arch. Lebensmittelhyg. 16, 217-224 (1965).

SPICHER, G.

Die Ermittlung des Keimgehaltes von Getreide und
Getreideprodukten und ihre Problematik

Brot u. Gebäck 16, 124-134 (1962)

SPURNY, K. u. O. MACHALA

Eine Bemerkung zur Wirksamkeit der Membranfilter
für mikrobiale Aerosole

Zbl. biol. Aerosolforsch. 13, 566-569 (1966/67)

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Hilliger für die Überlassung der Arbeit und für die mir jederzeit gewährte großzügige Unterstützung bei der Planung und Durchführung meiner Versuche.

In gleichem Maße möchte ich Herrn Prof. Dr. Hartwig für seinen stets freundlichen Rat und seine fachlichen Anregungen danken.

Allen Mitarbeitern des Instituts sei ebenfalls für ihre Hilfe gedankt.

Lebenslauf

geb. am 2.12.1940 in Leipzig; 1965 Abitur; 1966 Physikum
und 1969 Staatsexamen an der FU - Berlin.

